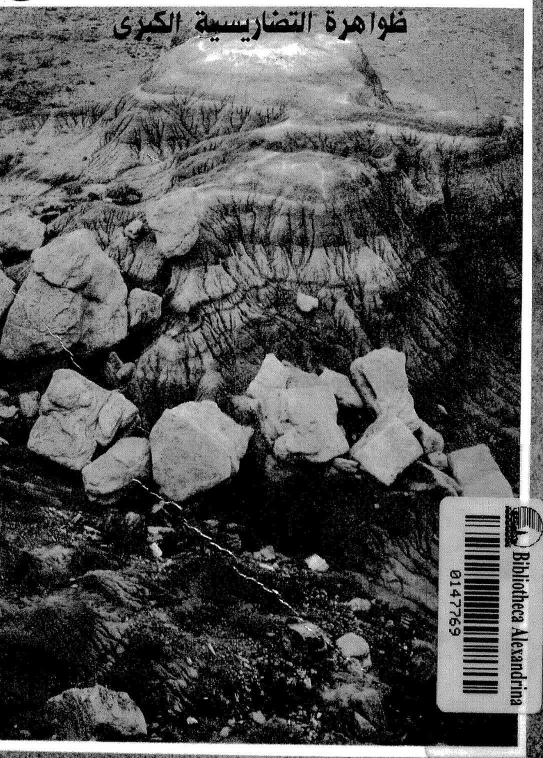
كوكب الأرض

ظواهرة التضاريسية الكبرى



دكتور
حسن سيد أحمد أبو العنين

مؤسسة الثقافة الجامعية
٤ شارع مصطفى مشرفة ت: ٤٨٣٥٢٢٤
الإسكندرية

كوكب الأرض

ظواهره التضاريسية الكبرى

تأليف
دكتــور
حسن سيد أحمد أبو العينين
.M. A. ,Ph. D ., Sheffield Univ. (U . K.)
رئيس قسم الجغرافيا ـ كلية الآداب ـ جامعة الاسكندرية (سابقا)
أستاذ الجغرافيا الطبيعية ـ جامعة الكويت

الطبعة الحادية عشرة
١٩٩٦
(معدلة تعديلاً شاملاً)

مؤسسة الثقافة الجامعية
للطبع والنشروالتوزيع

الطبعة الحادية عشرة
١٩٩٦
(معدلة تعديلاً شاملاً)

رقم الايداع :

مؤسسة الثقافة الجامعية
للطبع والنشروالتوزيع
٤٠ شارع د. مصطفى مشرفة – الاسكندرية
ت : ٤٨٣٥٢٢٤

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

سَبَّحَ لِلَّهِ مَا فِي ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ وَهُوَ ٱلْعَزِيزُ ٱلْحَكِيمُ ﴿١﴾ لَهُۥ مُلْكُ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ يُحْيِۦ وَيُمِيتُ وَهُوَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٢﴾ هُوَ ٱلْأَوَّلُ وَٱلْءَاخِرُ وَٱلظَّٰهِرُ وَٱلْبَاطِنُ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٣﴾ هُوَ ٱلَّذِي خَلَقَ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضَ فِي سِتَّةِ أَيَّامٍ ثُمَّ ٱسْتَوَىٰ عَلَى ٱلْعَرْشِ يَعْلَمُ مَا يَلِجُ فِي ٱلْأَرْضِ وَمَا يَخْرُجُ مِنْهَا وَمَا يَنزِلُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ وَمَا يَعْرُجُ فِيهَا وَهُوَ مَعَكُمْ أَيْنَ مَا كُنتُمْ وَٱللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ بَصِيرٌ ﴿٤﴾ لَهُۥ مُلْكُ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ وَإِلَى ٱللَّهِ تُرْجَعُ ٱلْأُمُورُ ﴿٥﴾

صدق الله العظيم

سورة الحديد ـ الآيات (١ – ٥)

تقديم الطبعة الأولى

نجح الانسـان فى أواخـر عـام ١٩٦٩ بفـضل بناء سـفن الفـضـاء وباستـخدام التقنيات الحديثة الوصـول الى القمر وجمع بعض عينات من صخوره وتربته . وأعلن انسان هذا العصر بذلك بداية عهد جديد لاكتشاف أسرار الفضاء وبقية كواكب الكون . وإن كان الانسـان قد أقدم على القيام بهذه المغامرة الكبرى فلم يكن ذلك بقصد غزو الكواكب الأخرى واحتلالها ، أو إعـلان حالة الحرب على من قد يكون فيها ، بل ليدرك أولا المزيد من المعلومات التى قد تفسر له نشأة كوكب الأرض الذى يعيش على سطحه وتسـهل له استغلال أرضه وتربته ، وبحاره وبحيراته ، وغاباته وأنهاره وغلافه الغازى فى بناء دعائم الحضارة البشرية وتطورها ومن ثم فإن موضـوع هذا الكتاب هو العناية بدراسة كوكب الأرض وعلاقاته ببقية كواكب المجموعة الشمسية ، وتحليل الظواهر التضاريسية الكبرى التى تشكل سطح هذا الكوكب ومعرفة نشأتها وتوزيعها الجغرافى ، حيث إنها تمثل المسرح الطبيعى الذى يعيش فيه الانسان

ويتألف هذا الكتاب من أربعة أبواب . يختص الباب الأول منها بدراسة كواكب المجموعة الشمسية ، وايضـاح العلاقة بينها وبين كوكب الأرض الذى نعيش على سطحه . ويناقش هذا الباب الافتـراضـات والنظريات - قديمها وحديثها - التى رجحت لتفسير نشأة كوكب الأرض وبقية كواكب المجموعة الشمـسية . وقد عنى هذا الباب بايضاح بعض المعلومات الجيولوجية والفلكية الخاصة بالقمر وذلك نتيجة للمعلومات والبيانات الهائلة التى استطاع الانسان جمعها بعد نزوله على سطح القمر فى أغسطس عام ١٩٦٩ . وبذلك أصبح علم الجيولوجيا لا يقتصر على دراسة الأرض وصخورها فقط ، بل فتح الانسان صفحة جديدة فى كتاب علم جديد هو الجيولوجيا الكونية Astrogeology. ويناقش الباب الأول من هذا الكتاب كذلك الأغلفة الكبرى التى يتكون منها كوكب الأرض لما لها من أثر كبير فى تحديد العوامل التى تشكل مظهر سطح الأرض وظواهره الكبرى .

ويعرض الباب الثانى لخصائص المواد التى تتألف منها قشرة كوكب الأرض والتى تؤدى الى تنوع أشكال الظواهر التضاريسية الكبرى .

وتتألف هذه المواد من المعادن والصخور ، ومن ثم يعالج هذا الباب كيفية تمييز أنواع المعادن والصخور طبيعيا ، والعوامل المختلفة التى تؤدى إلى نشأة مجموعات الصخور وبناء القشرة الأرضية .

وإن كان الباب الثانى قد اهتم بدراسة المادة المكونة لقشرة الأرض فإن الباب الثالث يعالج تشكيل مادة قشرة الأرض بالقوى المختلفة . وهذه الأخيرة يمكن تمييزها بالقوى الداخلية التى تحدث فى باطن الأرض مثل الزلازل والبراكين وحركات الثنى والطى والتصدع والقوى الخارجية التى تحدث فوق سطح الأرض بمساعدة الغلاف الجوى والتى تتلخص فى اثر فعل التجوية ، وعوامل التعرية النهرية والبحرية والهوائية والجليدية .

أما الباب الرابع فيعرض للقارىء تباين التوزيع الجغرافى لليابس والماء من زمن جيولوجى الى آخر ، وبعض النظريات التى قدمها الباحثون لتفسير هذا التباين . كما يتضمن هذا الباب دراسة الكتل القارية المستقرة القديمة جيولوجيا وايضاح مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة من سطح كوكب الأرض . كما يشتمل هذا الباب كذلك على دراسة موضوعية لبعض الظواهر التضاريسية الكبرى لسطح الأرض وخاصة السلاسل الجبلية والهضاب والسهول والجزر .

وقد زود الكتاب بعدد كبير من الأشكال التوضيحية واللوحات الفوتوغرافية حتى يسهل على القارىء فهم ما جاء بالكتاب فى سهولة ويسر . والمؤلف إذ يتقدم بهذا الكتاب يرجو أن يكون قد حقق الغاية والقصد من هذه الدراسة ، كما يرحب بأى نقد او توجيه من السادة الزملاء الذين يتولون تدريس موضوع سطح الأرض وظواهره التضاريسيه فى الجامعات والمعاهد العليا ، وغيرهم ممن يهتمون بتقديم المعرفة فى هذا العلم .

هدانا الله الى طريق النجاح والله وحده ولى التوفيق .

المؤلف

بيروت فى أول يناير سنة ١٩٧٠

الطبعة الثانية

يسعد المؤلف أن يقدم الطبعة الثانية من هذا الكتاب بعد نفاذ جميع نسخ الطبعة الأولى منه فى أقل من عام واحد ، وأن كان لذلك من فضل بعد كرم من الله عز وجل فإنه يرجع الى القارىء العربى الذى قدر المجهود الذى بذل فى عمل هذا الكتاب.

وفقنا الله الى ما فيه الخير ، وعلى الله قصد السبيل .

المؤلف

سوتير - الأسكندرية فى أول يناير سنة ١٩٧١ .

الطبعة الثالثة

تتضمن الطبعة الثالثة من هذا الكتاب بعض النقاط التوضيحية لاجزاء من محتويات الطبعة الثانية السابقة ، هذا الى جانب بعض الاضافات التى تضمنت حركة دوران الأرض ، وحركات توازن القشرة الأرضية ، وعلاقاتها بالحركات التكتونية الكبرى وأنواع البحيرات ودراستها جيومورفولوجيا .

والله ولى التوفيق .

المؤلف

سوتير - الاسكندرية فى يناير ١٩٧٤

الطبعة الحادية عشرة

عرض المؤلف فى هذه الطبعة الجديدة لدراسة الكون وعناصره ، وإيضاح العلاقات المتبادلة بين كوكب الأرض وبقية كواكب المجموعة الشمسية والنجوم والمجرات والسدم . كما أهتم المؤلف بإضافة بعض النقاط المهمة التى تختص بدراسة المعادن والصخور وتزويد الكتاب بصور فوتوغرافية لمجموعاتها المختلفة وعرض الكاتب فى هذه الطبعة الجديدة لنظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية ، ولتفسير التوزيع الجغرافى

لليابس والماء فى ضوء مفاهيم هذه النظرية الجديدة . وسعى المؤلف كذلك إلى اضافة الكثير من الخرائط والاشكال والرسوم التوضيحية لتيسير فهم ما جاء فى الكتاب فى سهولة ويسر ويأمل المؤلف أن يكون الكتاب فى صورته الجديدة – المعدلة تعديلاً شاملاً – أكثرمنفعة عما كان عليه من قبل .

والله وحده ولى التوفيق .

المؤلف

سوتير – الاسكندرية فى سبتمبر ١٩٩٥

الباب الأول

كوكب الأرض ونشأته

الفصل الأول

كوكب الأرض والمجموعة الشمسية

الإنسان والكون :

كوكب الأرض الذى نعيش فوق سطحه ، والذى يبهرنا ويزيد حيرتنا بالظاهرات التضاريسية التى تشكل هذا السطح ، وكيفية توزيع مسطحاته المائية واليابسة ، وحدوث الحركات التكتونية التى تتولد فى باطنه ، وإنبثاق المصهورات اللافية التى تعدل مظهر سطحه ، ما هو فى الحقيقة إلا كوكب صغير من كواكب المجموعة الشمسية التى يتوسط مركزها جميعا النجم الكبير الأم إلا وهو الشمس .

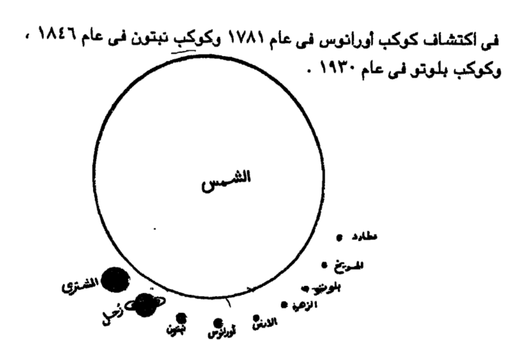
ويبلغ قطر الشمس نحو ٨٦٠ ألف ميل وتقدر كتلتها بنحو ٣٣٢,٠٠٠ مثلا لكتلة الأرض ، وهى شديدة الحرارة جدا بحيث تضىء نفسها ولا تستمد أى ضوء من كوكب آخر .

ويحيط بنجم الشمس عشرة كواكب سيارة هى كواكب المجموعة الشمسية حيث أنها جميعا ترتبط بجاذبية الشمس وتدور حولها من الغرب إلى الشرق بسرعة تتراوح من ٣ إلى ٣٠ ميل فى الثانية . ويعد كل من هذه الكواكب صغير الحجم جدا إذا ما قورن بحجم كتلة الشمس (شكل ١) وتشمل كواكب المجموعة الشمسية ما يلى :

عطارد Mercury والزهرة Venus والأرض Earth والمريخ Mars والكويكبات Asteroids والمشترى Jupiter وزحل Saturn وأورانوس Uranus ونبتون Neptune وبلوتو Pluto

ولم يعرف سكان كوكب الأرض أفراد المجموعة الشمسية إلا بعد مجهودات مضنية من الأبحاث الفلكية ، ولا يزال الكثير من خبايا الفضاء الكونى لا يعرفه العلم الحديث الوضعى حتى اليوم . وحتى أيام جاليليو (١٥٦٤ - ١٦٤٢) لم يكن يعرف العلماء من كواكب المجموعة الشمسية سوى تلك القريبة من الأرض أو الأخرى الكبيرة الحجم . ونجح الفلكيون

فى اكتشاف كوكب أورانوس فى عام ١٧٨١ وكوكب نبتون فى عام ١٨٤٦ ، وكوكب بلوتو فى عام ١٩٣٠ .

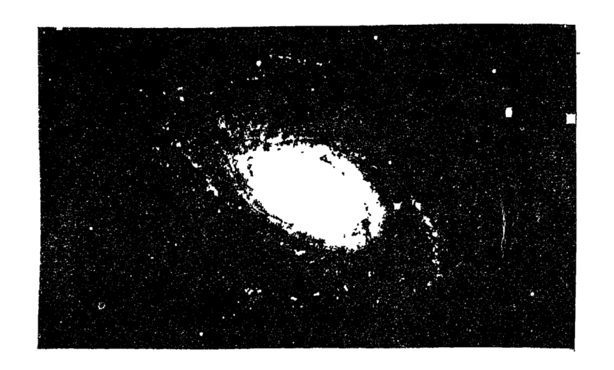


شكل (١) اختلاف احجام كواكب المجموعة الشمسية

وظل علماء الفلك يعتقدون لفترة طويلة بأن الفضاء الكونى يتألف أساسا من الكواكب الكبيرة الحجم والتى تحيط بنجم الشمس الكبير . ولكن فى عام ١٨٠١ تم كشف النقاب عن كويكب ثانوى ، أطلق عليه اسم سيرس Ceres ، ويقع مركزه فيما بين مدار كوكبى المريخ والمشترى . وتبعاً لتطور أجهزة الرصد الفلكية سرعان ما اكتشف الباحثون بأن هناك ما يزيد عن ٢٠٠٠ كويكب من هذه الكويكبات الصغيرة الحجم وتقع جميعها فيما بين مدارى المريخ والمشترى . ويبلغ متوسط قطر كويكب سيرس (الذى يعد اكبر مجموعة الكويكبات حجما) نحو ٥٠٠ ميل فى حين يبلغ المتوسط العام لقطر كل من هذه الكويكبات نحو عشرة أميال فقط .

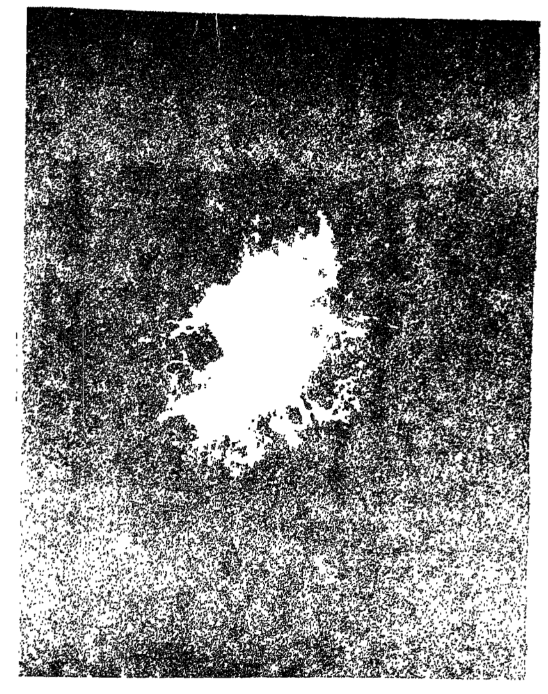
وقد أسهمت التقنيات الحديثة وأجهزة الرصد المطورة فى كشف النقاب عن كثير من أنواع السدم فى الفضاء الخارجى مثل سديم المرأة المسلسلة Andromeda وسديم السرطان البحرى Carb Nebulae.

(شكل ٢ أو شكل ٣)



(شكل٢) السديم الحلزونى او اللولبى (أحد سدم المرأة المسلسلة)

لاحظ شدة توهج مركز السديم ، فى حين بردت بعض أجزائه وكونت آلاف من الأجسام الكونية الصغيرة الحجم .



(شكل٣) سديم السرطان البحرى (الكابوريا) ويعزى شكله العام إلى إختلاف برودة أجزاء هذا السديم الغازى الهائل الحجم – لاحظ الأجسام الباردة نسبياً من اجزاء السديم والتى تعد المراحل الأولية لتكوين الكواكب .

ويتألف الفضاء السماوى من نجوم وكواكب وكوكبات ، وفيما يلى حديث موجز عنها مع الاشارة الى نجم الشمس وكوكب الأرض وقمرها وكواكب المجموعة الشمسية بشىء من التفصيل .

أولا : النجوم والكواكب والكوكبات :

تختلف النجوم Stars عن الكواكب Planets فى انها عبارة عن كتلة غازية هائلة الحجم متوهجة وتضىء نفسها داخليا أو ذاتيا كما أن بعضها أكثر لمعانا وأشد ضياء من نجم الشمس ، وذلك تبعا لمقدار الطاقة الحرارية والضوئية المنبعثة والمشعة من الكتلة الغازية الهائلة لكل نجم منها . وتتناثر النجوم فى القبة السماوية على شكل مجموعات رسم خيال الإنسان أشكالها وأعطاها أسماء مشتقة من الأساطير الإغريقية مثل كوكبات الصياد الجبار (أوريون) والشقيقات أو البنات السبع (نجوم الثريا) [١] . وتسبح بعض مجموعات النجوم فى الفضاء فى مسارات تقع

---

(١) كان العلماء العرب يعرفون علم الفلك بأسماء حسب تخصص كل فرع من فروعه وما تتناوله بالدراسة ، فكان هناك علم الهيئة وعلم التنجيم وعلم النجوم وعلم أحكام النجوم وعلم الأفلاك وعلم الزيجات والتقاويم . وأشار الفارابى إلى أن علم النجوم يشتمل على قسمين أحدهما هو علم دلالات الكواكب على المستقبل والآخر العلم التعليمى للنجوم . وفى الرسالة الثالثة من رسائل اخوان الصفا وخلان الوفا ، ميز أصحابها من الفلاسفة المسلمين ثلاثة علوم فلكية هى ع. تركيب الأفلاك واقسام البروج (علم الهيئة) وعلم الزيجات وعلم التقاويم وعد. الأحكام . وأشار ابن سينا إلى مضمون علم الهيئة على أنه العلم الذى يختص بدراسة أفلاك النجوم . ومن أظهر الكتب العربية الفلكية القديمة ، كتاب (فى جوامع علم النجوم ...) لأحمد بن كثير الفرغانى المتوفى فى النصف الثانى من القرن الثالث الهجرى ، وكتاب (المجسطى) لأبى الوفاء البوزجانى المتوفى سنة ٤٤٠ هـ ، وكتاب (الزيج الصابى) لمحمد بن جابر البتانى ، وكتاب (الكواكب والصور) لأبى الحسين بن عمر الصوفى المتوفى سنة ٣٧٦ هـ .

د. محمد محمود محمدين : « التراث الجغرافى الإسلامى » ، دار العلوم - الرياض ، الطبعة الثانية . (١٩٨٤) ص. ٨٣ - ٩٣ .

ضـمن إطار فلك أو دائرة البـروج Zodiac التى تمثل المسـار السنوى الظاهرى للشمس حول القبة السماوية ، والتى تعنى « حديقة حيوانات » ، وسميت المجموعات النجمية الاثنتى عشرة فى هذه الدائرة بأسماء حيوانات . ولكثير من الكوكبات Constellation ومجموعات نجوم دائرة البروج نجم واحد الأقل يعد أشد لمعانا عن غيره من النجوم الأخرى فى كوكبته ، فنجم منكب الجوزا Betelgeuse ونجم رجل الجبار اليسرى Rigel هما أشد النجوم لمعانا فى كوكبة الجبار Orion ، وكذلك نجم الدبران Aldebaran فى كوكبة الثور Taurus ونجم الشعرى اليمانية Sirius فى كوكبة الكلب الكبير Cains Major، ونجم النسر الواقع Vega فى كوكبة القيثارة Lyra ونجم آخر النهر Achenar فى كوكبة النهر Eridanus

وتتجمع المجاميع النجمية داخل سحابة فضائية هائلة الحجم تعرف باسم المجرات Galaxis والتى تتباعد فيما بينها (بما فيها من ملايين النجوم) بمسافات تقاس بآلاف السنين الضوئية والناظر إلى القبة السماوية نهاراً لا يرى مجموعات النجوم المختلفة فى السماء ويحجب بريق الشمس وضوؤها الساقط على الأرض لمعان النجوم ، وليس ذلك لأن ضياء الشمس ولمعانها أقوى من ضياء النجوم ، بل لأن الشمس هى أقرب نجم إلى الأرض ، وأن النجوم الأخرى تقع على مسافات بعيدة جداً عن الأرض . أما أثناء الليل وحين تبدو السماء بلونها الداكن فتتلألأ النجوم فى السماء وتشع ضوءها الخافت الباهت على سطح الأرض ، ويرى الناظر بعض مجاميعها ومواقعها المختلفة فى السماء بالعين المجردة (شكل ٤) .

مدى البعد بين النجوم :

وإذا كانت شمسنا تبعد عن الأرض بنحو ٨,٥ دقيقة ضوئية فقط فإن أقرب نجم إلينا (غير الشمس) يقع على بعد ٤ سنوات ضوئية أى نحو ٣٦ بليون كم (٢٣,٥ بليون ميل) . أما النجوم الأخرى البعيدة فإنها تقع على مسافات هائلة تقاس بمئات وآلاف السنين الضوئية (١) .



(شكل ٤) أ - القبة السماوية فى شهر سبتمبر (اتجاه النظر شمالاً)

ب - القبة السماوية فى شهر سبتمبر (اتجاه النظر جنوباً)

ويوضح الجدول الآتى أقرب النجوم إلى الشمس .

النجـــم		الكوكبة التابع لها		المسافة بالسنوات الضوئية
رجل الجبار	Alpha Centauri	قنطورس	Centaurus	٤,٣
نجم برنارد	Barnard Star	الحواء	Ophauchus	٦,٠
ولف ٣٥٩	Wolf359	الأسد	Leo	٧,٦
لالاند	Lalande21185	الدب الأكبر	Ursa Major	٨,١
الشعرى اليمانية	Sirius	الكلب الكبير	Canis Major	٨,٧

مواقع النجوم :

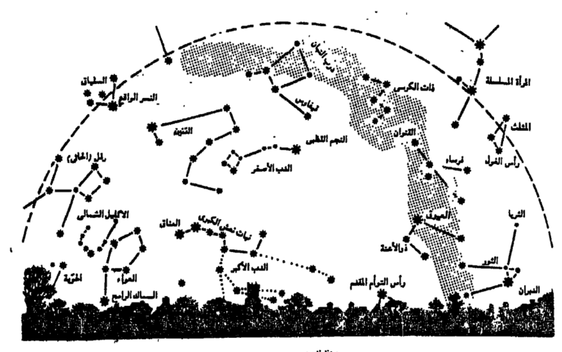
وتبدو النجوم فى مواقعها فى الفضاء وكأنها ثابتة وتتجمع فى مجموعات متجاورة ، ويعزى ذلك إلى أن الناظر إليها من سطح الأرض يشاهدها من موقع واحد . ويعجز العلم الحديث بما اتيحت له من وسائل وتقنيات مطورة أن يحدد الأبعاد الفعلية لكثير من مجموعات النجوم ، بل إن هناك أيضاً الكثير من النجوم التى لا يعرف عنها العلم شيئاً حتى الوقت الحاضر ، ولم يستطع الفلكيون رؤيتها حتى باستخدام ما ابتكره العلماء من أكبر المراقب الفلكية (شكل ٥) .

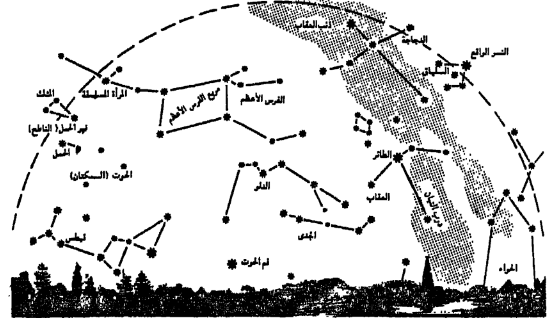
ألوان النجوم :

وتختلف النجوم فيما بينها من حيث ألوانها التى تبدو بها عند ظهورها فى القبة السماوية . فبعض النجوم تبدو حمراء اللون مثل نجم ولف ٣٥٩ ـ Wolf359 وهو ثالث أقرب إلى الشمس ويقع فى كوكبة

(1) Ian Ridpoth, "Illustrated dictionary of astronomy" Longman & Librairie du Liban (1987) P.95.

القبة السماوية فى شهر سبتمبر (اتجاه النظر شمالا)





القبة السماوية فى شهر سبتمبر (اتجاه النظر جنوبا)

(شكل ٥) المجموعات النجمية الرئيسية فى السماء الجنوبية (النجوم الواقعة داخل الدائرة المقطعة هى التى يمكن رؤيتها على مدار السنة) .

الأسد Leo، ونجم منكب الجوزاء Betelgeuseفى كوكبة الجبار Orion، وأعجوبة قيطس Mira وهو النجم الأحمر الرائع فى كوكبة قيطس ، ونجم قنطورس القريب Proxima Centauri وهو أقرب النجوم إلى الشمس من نجوم كوكبة قنطورس (رجل الجبار) ، ويبدو ضياء بعض النجوم الأخرى باللون الأبيض أو اللون الأزرق الذى يميل إلى البياض مثل نجم رجل الجبار Rigelوهو سابع أسطع نجوم السماء ، والنسر الواقعVega وهو خامس أسطع نجوم السماء فى كوكبة القيثارة Lyra ، ونجم الشعرى اليمانية Sirius فى كوكبة الكلب الكبير Alfa Canis Major فى حين يظهر نجم السماك الرامح فى كوكبة العواء Bootes بلون يميل إلى الأصفرار (١).

وتعطى شمسنا من الضوء ما قوته ٣٠٠ مليون شمعة ونجم الشعرى اليمانية يعطى من الضوء نحو ٢٦ مثلا لقوة ضوء الشمس ، ومن النجوم الأخرى ما يعطى من الضوء ٥٠٠,٠٠٠ مثل لضوء الشمس أى أنها تشع فى الدقيقة الواحدة مقدار ما تشعه الشمس من أشعة ضوئية فى عام كامل . وعلى فرض أن مثل هذه النجوم الأخيرة حلت محل شمسنا التى جعلها الله النجم المباشر لكوكب الأرض ، لانصهر كوكب الأرض من شدة الحرارة الساقطة عليه ، وتبخرت كل مياهه ومواده (٢) .

وقد نجح الفلكيون فى تحليل ضوء النجم إلى طيف ضوئى باستخدام « مطياف الضوء » Spectroscope. ففى حالة النجوم ذات اللون الأبيض المائل إلى الزرقة يكون لمعان الطرف الأزرق فى طيف الضوء شديداً للغاية بخلاف ما هو عليه الحال فى النجم الأصفر اللون . وبدراسة الخطوط السوداء المختلفة فى أطياف أضواء النجوم ذات الألوان المختلفة (٣) تمكن العلماء من معرفة الكثير عن أنواع الغازات التى تتألف منها النجوم

---

(1) Malin D, and Murdin P., " Colours of the Stars " Cambridge Univ.Press (1984).

(٢) د. أحمد زكى : « مع الله فى السماء » ، دار القلم - بيروت (١٩٨٣م) ، ص ١٧٨ .

(٣) أ- المرجع السابق ، ص ١٨٠ .

b - Zeilik et al , "Introductory to Astronomy ..." Saunders Colleg Publ. N.Y (1992).

ومقدار التفاعل بينها وبين الطاقة الحرارية والضوئية المنبعثة منها . وقد اتضح للعلماء أن أعلى طاقة حرارية وضوئية هى تلك المنبعثة من النجوم البيضاء المائلة إلى الزرقة ، وأدناها قوة هى تلك المنبعثة من النجوم الحمراء اللون (٣) .

وحيث أن كل جسم يحترق ويتولد عنه طاقة ، يتناقص حجمه ، إلا أن العلماء قد تبين لهم أن التناقص فى حجم النجوم يعد بسيطاً جداً بالنسبة لكتلتها الهائلة ، وأن ما نسبته ١٪ فقط من كتلة الأيدروجين فى النجم السماوى يكفى لبقائه مضيئاً ومشتعلاً وساطعاً بنفس قوته لمدة تزيد على ٣٠٠ مليون عام .

لمعان النجوم :

وتختلف درجة لمعان النجوم وشدة ضيائها إما تبعا لمدى بعدها عن الأرض (آلاف ومئات الآلاف من السنين الضوئية) أو بسبب الاختلاف فى أحجام النجوم وكتلتها ومقدار الأشعة الضوئية المشعة منها . ومن بين أظهر النجوم لمعانا (أو التماعاً) فى السماء تلك المعروفة باسم الشعرى اليمانية Sirius فى كوكبة الكلب الكبير Canis Major ، والنجم سهيلConopus فى كوكبة Carinae ، ورجل الجبار Centauri فى كوكبة قنطورس Centaurus ، ونجم السماك الرامح Arcturus فى كوكبة العواء Bootesكما يتضح فى الجدول الآتى (١) :

وإذا كانت العين المجردة يمكن لها أن تشاهد أكثر من ٢٠٠٠ نجما مرصع فى سماء ليلة صافية ، فإن الفلكى يمكن له أن يشاهد فى الوقت نفسه أكثر من ألف مليون نجم بواسطة المرقب الفلكى المطور . ويستقبل كوكبنا الأرضى الأشعة الضوئية من نجم الشمس ومن بقية النجوم

---

(1) a - Ian Ridpath, " Illustrated dictionary of astronomy " Longmen & Librairie du Liban (1987) P.92

b - Collier's Encyclopdia , Vol (7) N.Y. (1991) P.47-52.

c - Tayler, R.T., " Galaxies ..." Combridge Univ. Press (1993) P.20

النجـــــم		الكوكبـــة		درجة السطوع الظاهرى
الشعرى اليمانية	SIRIUS	الكلب الكبير	CANIS MAJOR	١٤٦ -
سُهيل	CONOPUS	كارينى	CARINAE	٠٧٢ -
رجل الجبار	Alpha centauri	قنطورس	CENTAURUS	٠٢٧ -
السماك الرامح	ARCTURUS	العواء	BOOTES	٠٠٤ -
النسر الواقع	VEGA	القيثارة	LYRA	٠٠٣ +
العيوق	Capella	ذو الأعنة	AURIGA	٠٠٨ +
رجل الجبار	RIGEL	الجبار	ORION	٠١٢ +
الشعرى الشامية	PROCYON	الكلب الصغير	CANIS MINOR	٠٣٨ +
آخر النهر	ACHENAR	النهر	ERIDANUS	٠٤٠ +
منكب الجوزاء	BETELGEUSE	الجبار	ORION	٠٥٠ +
الوزن	Beta centauri	قنطورس	CENTAURUS	٠٦١ +
النسر الطائر	ALTAIR	العقاب	AQUILA	٠٧٧ +
الدبران	Aldebran	الثور	Taurus	٠٨٥ +
نير نعيم	Alpha Crucis	الصليب الجنوبى	CRUX	٨٧ +
قلب العقرب	ANTARES	العقرب	SCORPUIS	٠٩٦ +
السماك الأعزل (السنبلة)	SPICA	العذراء	VIRGO	٠٩٨ +

الأخرى فى السماء ، وإن كانت تقع بعيدة جداً عن الأرض . وينبعث من هذه النجوم نور أزرق يميل إلى البياض وأنوار أخرى صفراء أو حمراء اللون وإشعاعات فوق البنفسجية Ultra violet rays وأخرى تحت الحمراء Infrared rays (١) .

(1) Robert, T. Dixon, "Dynamic Astornonomy" 5th edi Prentice Hall, New Jersey (1989).

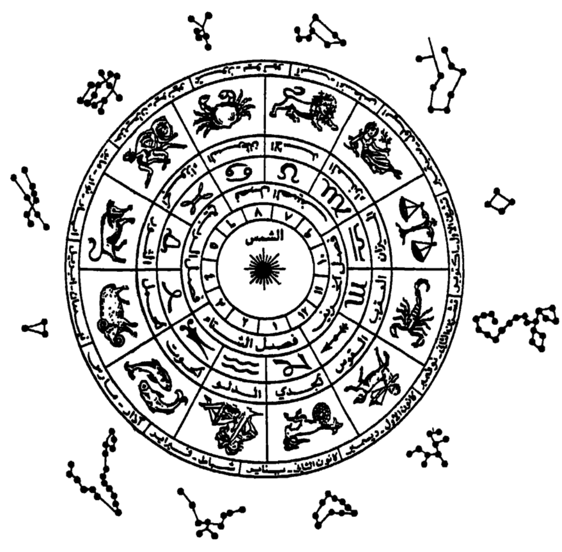
ويخطر للناظر إلى النجوم فى السماء أنها ثابتة ظاهرياً فى مواقعها ، بينما أن كلا منها فى الحقيقة يسبح فى مداره الخاص المحدد له ، ويتحرك من برج إلى آخر فى الفضاء . فأثناء الليل يمكن مشاهدة حركة النجوم ، خصوصاً مجموعة الدب الأكبر URSA MAJOR حول نقطة مركزية فى السماء تقع قريبة من موقع النجم القطبى الشمالى POLARIS ومع دوران الحركة المحورية اليومية للأرض يشاهد الناظر النجوم فى السماء ساعة بعد أخرى من مواقع مختلفة على الأرض .

أما مع دوران الأرض فى حركتها الانتقالية حول الشمس فيشاهد الناظر مجموعات النجموم فى مواقع مختلفة فى القبة السماوية حسب موقع الأرض فى مدارها فى كل شهر من شهور السنة . كما أن الناظر إلى النجوم فى نصف الكرة الشمالى يشاهد السماء الشمالية North Sky وفى نصف الكرة الجنوبى يشاهد السماء الجنوبية South sky وقسم علماء الفلك منذ القدم النجوم التى تسبح فى الفضاء إلى مجموعات عرفت باسم الكوكبات . وقد ميز العلماء أكثر من ٢٨ كوكبة نجمية تقع فى السماء الشمالية فى نصف الكرة الشمالى و ٤٩ كوكبة نجمية تقع فى السماء الجنوبية فى نصف الكرة الجنوبية . وتشاهد ١٢ كوكبة حول الدائرة الكسوفية Ecliptic Circle التى تمثل المسار السنوى الظاهرى للشمس حول القبة السماوية ، وتعرف باسم الكوكبات البروجية Zodiac ، ويمكن مشاهدة هذه الكوكبات فى أى مكان من سطح الأرض فى أوقات ظهورها فى أبراجها (١) .

ويمكن مشاهدة برج الثور Taurus عند النظر إلى القبة السماوية جنوباً فى أحد ليالى شهر ديسمبر ، بينما يشاهد الناظر نجوم برج الجوزاء Gemini (التوأمان) عند النظر فى اتجاه الجنوب فى ليالى فبراير ، وتكون نجوم برج الثور قد انتقلت غرباً . وفى ليالى شهر مارس تكون

---

(1) Theodore, P. Snow "The Dynamic Universe" West Publishing Company (1991), P.37.



(شكل ٦) الأبراج الفلكية ورموزها

نجوم برج الأسد leon واقعة في جنوب القبة السماوية (شكل ٦) .

وقد تبين للعلماء مؤخراً أن بعض النجوم المنفردة هي في الواقع نجوم مزدوجة . فنجم العناق مثلا (النجم الثاني في كوكبة بنات نعش الكبرى) يعد نجما مزدوجاً Double Star يتكون من النجم الرئيسي وهو العناق وتوأمه الثانوي الأصغر حجما وهو « السهى » . وتدور النجوم الثنائية الشديدة التقارب حول بعضها البعض بسرعة كبيرة جداً . وكثيراً ما تحدث عمليات الكسوف النجمي بين كل من نجمين يقعان في مدارين متقاربين .

أحجام النجوم :

يضم الفضاء السماوى نجوماً عملاقة الحجم Giant Star وأخرى قزمية الحجم Dwarf Starنسبياً ، كما شاهد العلماء عبر المراقب الفلكية نجوماً تثور لتهدأ وأخرى تهدأ لتثور ، وهو ما يطلق عليه اسم النجوم النابضة Pulsating Stars . وتبدو هذه النجوم الأخيرة ساطعة لامعة تارة ، ثم تبدو خافتة أو قاتمة تارة أخرى . وفسر العلماء هذه الظاهرة الفريدة فى تتابع لمعان النجوم وقتامتها إلى طبيعة دورة ثورانات المواد الغازية المكونة لجوف هذه النجوم . واكتشف العلماء كذلك حدوث عمليات انفجار فى بعض النجوم وتفتت أجزاء منها وانقسامها ، ومن ثم توالد وظهور نجوم جديدة صغيرة الحجم منها ، وتهوى بقايا مفتتات النجوم فى البحر السماوى الهائل الامتداد .

المجاميع النجمية والمجرات والسدم :

يشاهد الناظر إلى القبة السماوية ليلا مجموعات من النجوم معاً كأنها عناقيد من العنب يجاور بعضها بعضاً ، ومن أظهرها وأسهلها للرؤية مجموعة نجوم الثريا Pleiades التى تظهر عالية فوق كتف الجبار Orion وتقع فى كوكبة الثور Tauri ، ويشاهد الناظر إليها بالعين المجردة سبعة نجوم متلألئة ويطلق عليها اسم الشقيقات السبع The Seven Sisters بينما يشاهد العالم الفلكى بواسطة المرقب الفلكى المطور فى الوقت نفسه أكثر من ٥٠٠ نجماً لامعاً فى مجموعة الثريا تبدو متقاربة فيما بينها إلا أن المسافة الفاصلة بين كل نجم وآخر فيها أطول من المسافة الفاصلة بين الشمس وكوكب الأرض ببضع مئات المرات . وتبدو نجوم الثريا متقاربة فيما بينها للناظر إليها بالعين المجردة ، وذلك تبعا لبعد المسافة بينها وبين الأرض والتى تصل إلى نحو ٣٠٠ سنة ضوئية (١) .

وتسمى المجاميع النجمية حسب شكل تجمعاتها ، فمنها المجاميع النجمية المفتوحة ، وتلك النحلية (كما فى كوكبة السرطان) والمزدوجة (فى كوكبة فرساوس) التى تقع بالقرب من مجموعات ذات الكرسى

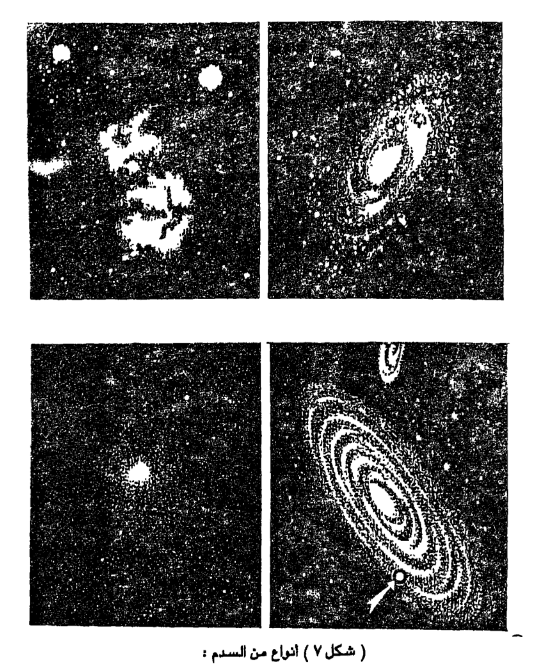
كاسيوبيا Cassiopeia كما تظهر فى السماء سحابة نجمية هائلة الحجم ، تتخذ شكل خصلة طولية من الضوء ، مكفهرة ويختلف اتساعها من جزء إلى آخر أسماها علماء الفلك قديما باسم « سكة اللبن »The Milky Way (٢) (شكل ٧) ، لأنها تبدو للناظر إليها فى السماء على شكل طريق أو مجرى من الحليب يقطع الفضاء السماوى .وبعد استخدام المراقب الفلكية المطورة عرف العلماء أن سحابة سكة اللبن تتألف من بلايين البلايين من النجوم .

---

(1) Theodore, P. Snow, "the Dynamic Universe" West Publishing Company (1991),32.

(٢) (سكة اللبن) هى سحابة غازية هائلة الحجم تقطع الفضاء السماوى على شكل شريط يمتد من أفق إلى أفق تسبح فيه بلايين النجوم وشبهها شعراء العرب ببياض ماء النهر فى سواد الأرض فأسموها « بالمجرة » أى النهر الجارى ، فى حين شبهها عامة العرب « بسكة التبانة » أو درب التبانة . والتبان إذا سلك طريقا سقط من تبنه بعضه ، فانتثرت الطريق ، فالمجرة أو درب التبانة عند العامة هى كطريق فى السماء بالتبن منثور . وشبهها الإغريق باللبن المسكوب ، فسموها « طريق اللبن » .

ومجموعتنا الشمسية عبارة عن جزء بسيط جداً من سكة التبانة التى تمتد على شكل قرص مفلطح وقطرها (١٠٠,٠٠٠ سنة ضوئية) يبلغ مقداره عشرة أمثال سمكها وتقع كواكب المجموعة الشمسية والشمس معها على بعد ٣٠ ألف سنة ضوئية من مركز مجرة سكة التبانة . راجع : د. أحمد زكى : « مع الله فى السماء » ، دار القلم – بيروت (١٩٨٣م) ، ص ٣٢٧ – ١٩٥ .



(شكل ٧) انواع من السدم :

١ ـ السديم الحلزونى ٢ ـ سديم السرطان البحرى

٣ ـ مجرة درب التبانة ويشير السهم إلى موقع المجموعة الشمسية

٤ ـ التجمع النجمى الكروى فى كوكبة القوس

وتتجمع المجاميع النجمية داخل مجموعة أو مدينة نجمية هائلة الحجم تعرف باسم المجرات Galaxies. وقد تتكون مجرات هائلة الحجم ، وكثيرة العدد داخل سحابات غازية سديمية . فقد تبين أن سحابة السنبلة تضم اكثر من ألف مجرة (١) . ويقاس قطر المجرة الواحدة بمئات الاف السنين الضوئية ، وتتراوح المسافة بين مجموعة نجمية وأخرى داخل المجرة الواحدة من ١ إلى ٣ مليون سنة ضوئية ، وأن المسافة بين مجرة وأخرى قد تصل إلى اكثر من ٢٠٠ مليون سنة ضوئية . وتتألف المجرة الواحدة من عدد لا حصر له من النجوم ، ويتراوح متوسط عددها من عدة مئات إلى عدة ملايين وأحيانا إلى تريليون نجم . ويشاهد فى كثير من المجرات - كما هو الحال فى درب التبانة - سحب سديمية تسبح فى داخل المجرات وحولها (٢) . (شكل ٨) .

ومجرتنا - درب التبانة - هى عضو فى تجمع يعرف باسم المجموعة المحلية والعضو الرئيسى الآخر فى المجموعة هو المجرة « م ٣١ » وهى المجرة الكبرى فى كوكبة المرأة المسلسلة وهى أقرب المجرات إلينا ، إذ تبعد عن مجرة درب التبانة بنحو ٧٠٠ ألف سنة ضوئية . والعضو البارز فى هذه المجموعة هو المجرة « م ٣٣ » التى تقع فى كوكبة المثلث . ويبلغ عدد ما اكتشفه علماء الفلك من المجرات المحلية حتى اليوم ١٩ مجرة تحتل رقعة من الفضاء الكونى يصل طولها إلى اكثر من مليون بارسك (٣) . وتقع مجرتنا وسديم المرأة المسلسلة فى جانبين متقابلين من المركز .

---

(١) أ- فرد هويل - المرجع السابق ، ص ٣٢٥ - ٣٣٣ .

البارسك : وحدة قياس أبعاد النجوم ويبلغ ١٩,٢٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ميل .

(2) Ensyclopedia Americana, vol. 7p.81.

b - Covington M.A. , "Astrophotography" Combridge Univ . Press . (1991) P.68.



(شكل ٨) السدم الحلزونية الشكل فى الفضاء السماوى ونشوء النجوم .

وفى السماء مجرات بعيدة جداً عن الأرض بصورة تفوق الخيال البشرى ، وينبعث من هذه المجرات أشعة ضوئية خافتة ، ذلك لأنها تبعد عن الأرض بنحو ألف مليون بارسك (نحو ١٩,٢٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ميل) ، ومن بينها مجرة السحابة المجلانية Magellanic Cloud ومجرة قنو العذراء Virgo Cluster وهى من أوقوى الحشود المجرية القريبة إلينا وتشتمل على نحو ٢٥٠٠ مجرة داخلة فيها (١) .

وقد صنف الفلكيون شكلين رئيسيين من المجرات هما :

(١) المجرات اللولبية أو الحلزونية الشكل : Spiral Galaxies

ويتراوح قطر المجرة الواحدة منها من ١٥٠,٠٠٠ إلى ١٥,٠٠٠ سنة ضوئية ، وتزداد اتساعاً فى القسم الأوسط منها بينما يقل اتساعها عند أطرافها . وتتوالد الكثير من النجوم الجديدة فى المجرات ، ومن بينها النجوم الجديدة القصيرة العمر ، الشديدة اللمعان ، والتى تسهل عملية رصدها باستخدام المراقب الفلكية المطورة نظراً لوقوعها عند أطراف المجرة . ويحيط بالنواة الوسطى فى مركز المجرات اللولبية إنتفاخ نووى أسطوانى الشكل هائل الحجم ويصل قطره إلى نحو نصف قطر قرص المجرة نفسها (١) . ويقع فيما وراء هذه النواة المنتفخة الوسطى وخارج قرص المجرة مجموعات نجمية تبدو على شكل إكليل أو هالة كروية Spherical halo أو تجمعات لعناقيد نجمية Star Clusters أو نجوم منفردة Individual Stars. وإلى جانب المجرات اللولبية ، يبدو شكل بعضها مزلجا barred ، حيث يتركب ذراع المجرة فى هذه الحالة من نجوم مصفوفة ومتراصة فى حزام مستقيم الامتداد ، يصل امتداده إلى مركز المجرة

---

(1) a - Jacqueline and Simon Mitton. "Discovering Astronomy" Stoneheuge (1982), P.40.
b - Robert T. Dixon, "Dynamic Astronomy", th edi, Prentice Hall, New Jersey (1989), P.9.

(٢) فرد هويل ـ المرجع السابق ـ ص ٢٢٧ .

(3) Time Life Book - Amesterdam "Computers and Cosmos" .P.7.

نفسها أو قد يتكور ويلتف على شكل حلقة دائرية حول الحزام الطولى للمجرة [1] . ومن بين أظهر المجرات اللولبية الشكل مجرة سيفرت -Sey fert Galaxy التى ينطلق منها غازات ساخنة جداً بسرعة فائقة. (شكل ٦)

(٢) المجرات الإهليلجية أو البيضاوية الشكل Elliptical Galaxies

تتميز المجرات الإهليلجية الشكل بأن مجموعات نجومها تتناسق فى أشكال هندسية رائعة ومنتظمة الشكل ، فمنها ما هو كروى أو شبه كروى الشكل ومنها ما هو عنقودى الشكل . كما تختلف هذه المجموعة من المجرات من حيث حجمها ، فبعضها عملاقة ذات حجم هائل - وهى نادرة - Giant ellipticals ومنها ما هو فائق العملقة مثل مجرة س . د .. C.D. Galaxy ، ويصل اتساعها إلى بضع مئات الآلاف من السنين الضوئية ، وبعضها الآخر قزمية الحجم Dwarf Ellipticals لا يزيد طولها على عدة عشرات أو مئات من السنين الضوئية . ولم يستطع علماء الفلك تحديد العوامل التى أدت إلى تعدد أشكال المجرات .

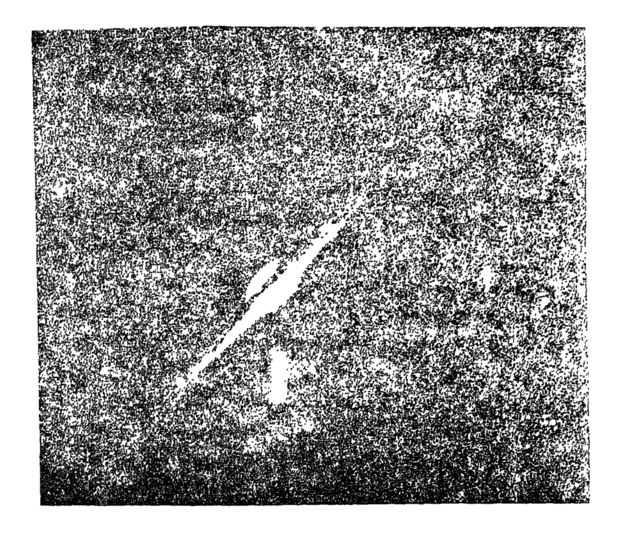
وقد ميز الفلكيون كذلك مجموعة نادرة الحدوث من المجرات ذات أنماط متباينة فمنها ما يتصف بعدم انتظام الشكل Irregular مثل مجرة S. D. Galaxy التى ليس لها أذرع جانبية طولية ومجرة C.D. Galaxy شبه الإهليلجية فائقة العملقة [2].

ويحتل هذا النوع من المجرات القسم الأوسط من سحابة المجرات المتجمعة . وبعض المجرات عدسية الشكل Lenticular Galaxies وبعضها ينبعث منها كميات عالية من الأشعة فوق البنفسجية (مثل المجرة المركارية Markarian) أو ينبعث منها أمواج راديوية هائلة الحجم (مثل المجرات الراديوية Galaxy Radio ومنها مجرة الدجاجة Cygnus) . ويرجح العلماء أن نشأة هذه المجرات قد تعزى إلى أثر اصطدام أو احتكاك

---

(1) Lang K.R., and Whitney, C.A. "Wanderers in Space" Cambridge Univ. Press (1991) P.80.

(٢) د. حسن أبو العينين : (كوكب الأرض) ، الطبعة العاشرة (١٩٨٩/٨٨م) ، ص ٦ - ٧ .



(شكل ٩) مجرة المرأة المسلسلة (أندروميدا) وهو مجرة سديمية ضخمة ولولبية الشكل وأقرب المجرات إلى درب التبانة وتقع على بعد ٢ مليون سنة ضوئية من الأرض

بعض المجرات مع بعضها الآخر وقد تبين أن نواة مجموعات المجرات النشيطة تحتوى على مجموعة غير عادية من المجرات ذات نشاط نووى هائل تظهر فيها الكثير من النجوم الشديدة اللمعان والتى تقع بعيداً فى الفضاء الكونى (١) .

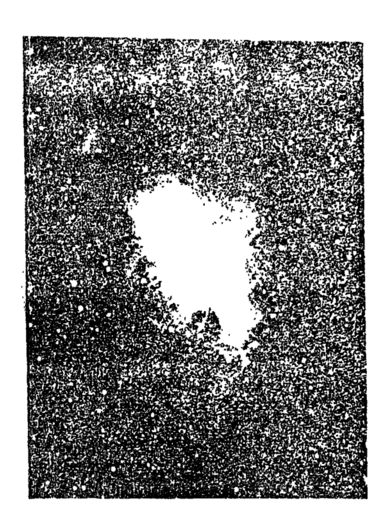
وينتشر فى الفضاء السماوى أحجام هائلة من الغبار والغازات الساخنة ، ويمكن مشاهدتها بالعين المجردة كما هو الحال فى مجموعة كوكبة « سيف الجبار » . وعند دراستها باستخدام المرقب الفلكى ، أكد العلماء أنها تتألف أساساً من غازات ساخنة تنتمى لما يعرف باسم السدم الفضائية الغازية الساخنة Nebulae.

وقد استعان العلماء بالمطياف الضوئى Spectroscope عند دراسة السدم ، وتبين لهم أن الضوء القادم من سديم الجبار هو عبارة عن بقعة متوهجة من الغازات المشتعلة ، وتتوهج ذرات هذا السديم بتأثير الأشعة الضوئية الساقطة عليها من نجوم أخرى مجاورة له . وقد اكتشف العلماء أعداداً كبيرة من السدم ، وخصوصاً فى سحابة درب التبانة ، وكذلك فى قبة السماء الجنوبية . وبالقرب من نجم الصليب الجنوبى يشاهد سديم غازى هائل الحجم فى شكل الكمثرى يعرف باسم سديم غرارة أو جراب الفحم Coal Sack Nebulae(٢) .

ومن بين أظهر السدم فى الفضاء الكونى السديم اللولبى Spiral التابع لمجموعة المرأة المسلسلة Andromeda وسديم السرطان البحيرى (الكابوريا) Crab Nebulaeوالسدم الموهجة Luminous والسديم الحلقى Ring Nebulaeفى كوكبة الشلياق (القيثارة) وسديم العنكبوتTarantula Nebulaeفى سحابة مجلان الكبرى ، والسديم الحجاب Veil Nebul فى كوكبة الدجاجة Cygnus (شكل ١٠) . وتتعرض الأجزء الهامشية من السديم اللولبى للبرودة التدريجية ويتولد عنه ملايين

---

(1) Smart, W . M. " The Origin Of the Earth "A Pelican Book (1950) p.32.



(شكل ١٠) سديم الحجاب - سديم إبتعاثى فى كوكبه الدجاجة كما يراه تلسكوب
مرصد « ليك » . Lick

النجوم التى يندفع الضوء منها فى الفضاء بسرعة ١٨٦,٠٠٠ ميل /ث . وقدر العلماء طول المسافة بين السديم اللولبى وكوكب الأرض بنحو ٩٥٠,٠٠٠ سنة ضوئية ، فى حين يبعد سديم السرطان البحرى بنحو ٤٠٠٠ سنة ضوئية عن الأرض . ويفسر هذا البعد الهائل بين مجموعة السدم وكوكب الأرض أسباب تكوين السدم بأحجام هائلة كذلك . فيبلغ قطر السديم اللولبى أكثر من ٣٠٠ ألف سنة ضوئية . وقد أوضح بعض الباحثين (١) أن هذا السديم ربما يقع قريبا من مركز الفضاء الكونى ، إلا أن العلم الوضعى لا يستطيع أن يصل إلى حقائق يقينية فى هذا الشأن ، بل هو يقدم مقترحات ظنية تتغير مفاهيمها من زمن إلى آخر ، ولا يدرك العلم حتى يومنا هذا ، ما يقع وراء السدم فى هذا الفضاء الكونى السحيق المعجز .

---

(1) Long. K.R., and Whitney, C.A., " Wanderers in Space ", Cambridge Univ. Press (1991)p.34.

ثانياً : الشمس :

تعد الشمس نجما وسطا بين نجوم الكون ، فهي متوسطة الحجم ، ذلك لأنها ليست من النجوم العملاقة كما أنها ليست من النجوم القزمية الحجم كذلك .وهي متوسطة أيضا من حيث مقدار ضوئها وحرارتها ، وتعرف فلكيا بالنجم فوق القزمي G.2 (١) . ويبلغ قطر الشمس ١,٣٩٢,٠٠٠ كم (قطر الأرض ١٢٧٥٦ كم) ، أي نحو ١٠٩ مثل لقطر الأرض . وتبعد الشمس عن الأرض بنحو ١٥٠ مليون كم وهي تعادل ٨,٥ دقيقة ضوئية فقط . في حين أن أقرب نجم إلى الشمس يبعد عنها بنحو أربع سنوات ضوئية . ويعجز الإنسان عن النظر إلي الشمس بالعين المجردة لفترة طويلة فهي تكاد تخطف الأبصار ، وينظر علماء الفلك إليها عن طريق استخدام آلات خاصة ومناظير فلكية مطورة .

وترجع بداية الدراسة العلمية للشمس منذ أن اخترع جاليليو GALI-LEO المنظار الفلكي المكبر ، وشاهد به الشمس ودرس القمر ثم أكمل دراساته من بعده كل من جوهان فابريسيون J Fabricius وكريستوف شينر C. Scheiner وتوماس هاريوت T. Harriot في القرن السابع عشر الميلادي . وقد رصد هؤلاء العلماء البقع الشمسية Sun Spots التي ترى في قرص الشمس ، واهتموا بدراستها ومعرفة أسباب حدوثها ، وأكد العالم الفلكي صمويل شواب S.H. Schwabe في عام ١٨٤٣ م أن البقع الشمسية تختلف فيما بينها حجماً وشكلاً خلال دورة يستغرق طولها عشر سنوات ، ثم عدل الطول الزمني لهذه الفترة فيما بعد لتصبح كل ١١,٢ سنة . ولاحظ العلماء أن البقع الشمسية تتمركز عند بداية دورتها على سطح قرص الشمس (الصَيْخَد) Facula ، فيما بين دائرتي عرض الشمس ٣٠° شمالا وجنوبا ، ثم تتجه البقع الشمسية صوب خط الاستواء عند نهاية دورتها . وفي بداية القرن التاسع عشر ربط العلماء بين حدوث التغيرات الفجائية في العواصف المغنطيسية MagneticStorms التي تصيب

---

(1) Encyclopedia Americana (1993) Vol. 7 p.567.

الأرض وبين دورات حدوث البقع الشمسية

البقع الشمسية : Sun Spots

بعد اختراع منظار التحليل الطيفي(الاسبكتروسكوب)Spectro Scopeفي عام ١٨٧٠م اكتشف العلماء خطوطاً سوداء اللون في الضوء المشع من البقع الشمسية دلالة على وجود مركبات من جزيئات غازية مختلفة . وتبين أن تقطع امتداد هذه الخطوط وعدم استمرار امتدادها إنما يرجع إلى حدوث الثورانات الغازية الشمسية Gaseous Eruptions بالقرب من مركز تجمع البقع السوداء . ونتيجة لحدوث هذه الثورانات تندلع ألسنة نارية متوهجة تخطف البصر Flares في حين أن البقع السوداء نفسها تعد أبرد منها نسبيا ، وتنبثق الغازات من المراكز السوداء في البقع الشمسية وتتجه إلى هوامشها وأطرافها بسرعة ٢كم / ث (١) . وتتألف البقع الشمسية من قسمين رئيسيين هما الجوف الدخلي لها القاتم اللون Dark Core، ويعرف باسم منطقة الظل Umbra ، والجدار الخارجي الغازي المتوهج الذي يحيط هذا الجوف ويعرف باسم منطقة شبه الظل Penumbra

وتختلف البقع الشمسية فيما بينها حجماً وشكلا . ولا يحيط الصغير الحجم منها مناطق شبه الظل ، ويبلغ قطرها بضع مئات من الكيلومترات فقط . أما الكبير الحجم منها فله مناطق شبه ظل تحيط بجوفه الداكن ، ويزيد حجمه عن حجم كوكب الأرض بعشرات المرات . وعند تجمع مجموعات البقع الشمسية قد يصل حجمها مجتمعاً إلى أكثر من ٢٠ ٪ من حجم الشمس نفسها . وفي هذه الحالة يمكن مشاهدة البقع الشمسية وقت الغروب بسهولة وبالعين المجردة . والبقع الشمسية السوداء تعد داكنة اللون بالنسبة لما حولها من غازات ساطعة متوهجة في قرص الشمس الضوئيPhotos sphere ، إلا أنها في الواقع أشد حرارة ولمعانا وتوهجاً من التونجستون المنصهر Molten Tungstenوتبلغ درجة حرارة البقع الشمسية السوداء نحو ٣٨٠٠ درجة مطلق K(٢) .

---

(1) a - Encyclopedia Americana, (1993) vol 7 P.506.

(١) الكون ، الموسوعة العلمية الحديثة ، بيروت (١٩٨٠) ص ٤٠ .

وتتألف البقع الشمسية من عدة مركبات كيميائية ، فتتركب خطوط الطيف من الكيانوجين Cyanogen وأول أكسيد الكربون ، وهيدرات النتروجين ، والكربون والأكسجين والماغنسيوم . ونسبة قليلة من الكالسيوم والسليكون وهيدرات الفلورين والتيتانيوم وأكسيد الزركون .

وللبقع الشمسية السوداء حقول مغنطيسية هائلة القوة ، وتزداد قوتها مع زيادة حجم البقع الشمسية نفسها . فتبلغ قوة الحقل المغنطيسي لكل من البقع الصغيرة الحجم نحو ٥٠٠ جوس (١) ، بينما يزيد قوته في كل من البقع الكبيرة ، ويصل إلى نحو ٤٠٠٠ جوس .

ومن نتائج تحليل الإشعاع الشمسي طيفياً Spectoheliographically في دراسات العالم الفلكي جورج هال G.H. Hale منذ عام ١٨٩١م ، تمكن العلماء من دراسة الأضواء المشعة من تفاعلات الهيدروجين والكالسيوم والأيون ومعرفة الكثير عن الخصائص الفلكية للشمس . وباكتشاف جهاز تسجيل المجال الكهرومغنطيسي الضوئي Photoelectric Magnetograph في عام ١٩٤٨ م استطاع العلماء دراسة الحقول المغنطيسية للشمس . وميز العالم فراونهوفر J.V. Fraunhofer أكثر من ٥٧٤ خطاً من الخطوط السوداء اللون عند تحليله الطيف الشمسي Solar Spectrum. وبعد ذلك استطاع العلماء اكتشاف ٣٩ عنصراً كيميائيا تدخل في تركيب نجم الشمس من أهمها الهليوم والبيريليم المتحد مع البورون ، والكربون والنتروجين والأكسجين والفلورين والنيون Neon ولا تتطاير الغازات الشمسية في الفضاء على الرغم من شدة سخونتها وارتفاع درجة حرارتها ، وذلك لأن بلايين بلايين أطنان الغازات التي تتألف منها الشمس تشد بعضها بعضا وتبقى متماسكة ومتلاحمة على شكل كتل غازية ملتهبة

---

(١) يعتمد نظام كالفن Kelvin على تحديد الصفر المطلق لدرجة الحرارة المطلقة وهي – ٢٧٣°م وهي عبارة عن الدرجة التي تتوقف عندها كل حركة حرارية ، ويتلاشى عندها حجم الغاز نظرياً مع ثبات الضغط . ويستخدم هذا النظام عند قياس درجة الحرارة الحركية Kinetic temperature راجع : أ.د حسن أبو العينين : « أصول الجغرافيا المناخية » ، مؤسسة الثقافة الجامعية الإسكندرية – الطبعة السادسة (١٩٨٩م) ص١٠٧ .

(٢) الجوس Gauss هو وحدة قياس الحقل المغنطيسي ، وتصل قوة الحقل المغنطيسي للأرض (عند سطحها) أقل من ١ جوس

ومستديرة الشكل .

وجعل الله جل وعلا الشمس سراجاً ، ويبدو ضوؤها وكأن ليس له لون خاص مميز به ، فهو يشرق ساطعا ناصع البياض فى حين انه يتركب من جميع الألوان الموجودة فى قوس قزح . ويمكن مشاهدة هذه الألوان عند انحلال ضوء الشمس أو اصطدامه بزجاج نافذة أو بمنشور ثلاثى . ففى هذه الحالة يمكن مشاهدة ألوان الطيف السبعة وهى الأحمر والبرتقالى والأصفر والأخضر والأزرق والنيلى والبنفسجى (١) . ويوضح البيان التالى معلومات عن الشمس وحجمها وسرعتها وطاقتها وكثافتها .

- طول المسافة بين الشمس والأرض	(٩٢.٩٥٧.٠٠٠ميل) ١٤.٦٠٠.٠٠٠كم .
- زاوية ميل قطر الشمس	٣١.٥٩
- قطر الشمس	(٨٦٤.٩٥٠ ميل) ١.٣٩٢.٠٠٠ كم
- مساحة سطح الشمس	٦.٠٨٧×١٠ كم٢ (٢.٣٥×١٠ ميل٢)
	(١٢٠٠ مثل لمساحة سطح الأرض)
- كثافة الشمس	١.٩٩ × ١٠ كجم (٢.١٩ × ١٠ طن)
	(٣٣٣.٤٠٠ مثل كثافة الأرض)
- سرعة حركة الشمس	٦١٨ كم/ث
- درجة حرارة الشمس	١٤٦١م إلى ٢٠ مليون مْ
- درجة الحرارة المطلقة	٥.٧٣٠ْ K(كالفين)
- إجمالى الطاقة الشمسية	٣.٨٦× $١٠^{٣٣}$ أرج / ث
- الإشعاع من سطح الشمس	٦.٣٥ × $١٠^{١٠}$ أرج /سم٢/ث
- سرعة لمعان قرص الشمس	٨.٢٣ × ١٠ لمبرت
- الضوء الشمسى مقيساً بضوء الشمعة	٣.١٧ × $١٠^{٢٧}$ شمعة

(١) أ- الكون : « الموسوعة العلمية الحديثة » ، بيروت (١٩٨٠م)، ص ٤٠ .

ب- حسن أبو العينين « من الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم » الجزء الأول - مع آيات الله فى السماء - مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٦) ص ١٤٦ .

الدوران المحورى للشمس :

(أى الوقت الذى تستغرقه الشمس للدوران حول محورها) .

- عند خط الإستواء الشمسى ٢٦,٩ يوما
- عند تمركز البقع الشمسية (٥٦ شمالا وجنوبا) ٢٧,٣ يوما
- عند القطبين الشمسيين ٣١,١ يوما

باطن الشمس :

- الكثافة ١٥٠ جرام / سم٣
- الحرارة ١٥٠ مليون درجة مطلقة k
- الضغط ٤ × ١٠١٧ داين / سم٢ (٤ × ١٠١١ جو)(١)

الشمس هى مصدر الحرارة والضوء على سطح الأرض :

نتيجة للتفاعلات النووية فى باطن الشمس بفعل اشتقاق ذرات الهليوم من ذرات الأيدروجين تتولد الأشعة الحرارية والضوئية الشمسية التى يصيب سطح الأرض جزء منها . وحيث إن كل إشعاع للطاقة لابد أن يصحبه تناقص فى كتلة الجسم المشع ، فمن السهل إذن حساب ما ينقص من الكتلة فى مقابل إشعاع معلوم من الطاقة . ورجح الفلكيون أن كتلة الشمس فى تناقص تدريجى مستمر يقدر بنحو أربعة ملايين طن من غازات الأيدروجين فى الدقيقة الواحدة . وقد يهولنا هذا المقدار حين نقيمه بمعاييرنا الأرضية ، ولكن تبين أن جسم الشمس لم يتأثر كثيراً بهذا التناقص الذى قدرت نسبته إلى جملة كتلة الشمس بنحو ١ : ١٠,٠٠٠ متر منذ بداية ميلاد كوكب الأرض حتى اليوم (١) . وإن شمسنا يمكن لها أن تحتفظ بصورتها الحالية دون تغيير ملحوظ من حجمها العام لمدة طويلة من الزمن تصل إلى نحو ٣٠ بليون سنة . وتظهر الطاقة الشمسية على

---

(1) Encyclopedia Americana, Vol. 7p.508

هيئة إلكترون موجب (بوزترون) ، ويتكون أثناء التفاعلات النووية التى تحدث فى باطن الشمس ، ولولا حدوث هذه العمليات وتكوين الطاقة الهائلة المنبعثة من تحويل الأيدروجين إلى هليوم لفقدت الشمس قوتها ولصارت نجما خامدا منذ عدة آلاف من ملايين السنين .

والشمس قرص غازى هائل الحجم مضىء وتتولد الحرارة فيه ذاتيا ، وتنبعث منه الأشعة الحرارية والضوئية فى الفضاء السماوى . وظهرت أولى محاولات الإنسان لتسجيل درجة حرارة الشمس فى دراسات عالم الفلك جون هرشل J. Herschel فى عام ١٩٣٧م . وقد تبين له أنه عند سقوط الأشعة العمودية على طبقة من المياه سمكها ١,٨سم فإن درجة حرارة المياه ترتفع ١° م كل دقيقة واحدة . وهناك كذلك عوامل كثيرة تؤثر فى ارتفاع درجة حرارة المياه أو انخفاضها إلى جانب تأثير الأشعة الشمسية الحرارية . وعلى أى حال تمكن العلماء بعد ذلك من تقدير حرارة الشمس بحساب الطاقة الإشعاعية التى تصل إلى وحدة المساحات من سطح الأرض خلال الدقيقة الواحدة ، ويمكن قياسها عمليا (١) . فإذا اعتبرنا أن الشمس جسم أسود نصف قطره « نق » فإن الطاقة الإشعاعية التى تنبعث من الشمس فى الثانية الواحدة = Q× ر٤ × ٤ ط نق٢ .

---

(١) أ - د. حسن أبو العينين : « أصول الجغرافيا المناخية » - الإسكندرية - الطبعة السادسة، (١٩٨٩م) ، ص ٧٣ - ٧٦ .

ب - د. محمد عبدالوهاب ، د. الوهيدى فراج : « مبادىء البصريات الطبيعية والضوئيات والحرارة » ، كلية العلوم - جامعة الاسكندرية - مذكرة جامعية (١٩٧٩) ص ٦٠ .

وإذا ما اعتبرنا أن المسافة بين الشمس والأرض تساوى ف ، فإن هذه الطاقة الإشعاعية التى تصل إلى ١سم٢ من سطح الأرض فى الثانية الواحدة تساوى :

$$= \text{ش} \times \frac{Q \times \text{ر}^{٤} \times ٤\ \text{ط نق}^{٢}}{٤\ \text{ط ف}^{٢}} =$$

$$= \text{ش} \times Q \times \text{ر}^{٤} \times \frac{\text{نق}^{٢}}{\text{ف}^{٢}}$$

علما بأن :

ش = معامل انبعاث الإشعاع للسطح

ر = درجة الحرارة المطلقة .

Q = ثابت ويساوى $١,٣٧ \times ١٠^{١٢}$ سعر/ سم٢ / ث / درجة٤ .

وتسمى هذه الكمية بالثابت الشمسى Solar Constant ، ويمكن قياسه بتجميع أشعة الشمس داخل غلاف أسود من خلال ثقب فيه ، ثم قياس كمية الحرارة المكتسبة بوضع هذا الغلاف فى مسعر له المكافىء المائى . وقد تبين أن متوسط قيمة الثابت الشمسى تساوى ١,٩٣٧ سعر / سم٢ / الدقيقة .

وفى حالة اعتبار معامل انبعاث الإشعاع للسطح ش = ١ فإن :

نق = ٦,٩٧ × ١٠ كم

ف = $١,٤٩ \times ١٠^{٨}$ كم

$$= \frac{١,٩٣٧}{٦٠} = ١,٣٧ \times ١٠^{١٢}\ \text{ر}^{٤} \frac{(٦,٩٧ \times ١٠^{٩})^{٢}}{(١,٤٩ \times ١٠^{٨})^{٢}}$$

ومنها نحصل على أن «ر» درجة الحرارة المطلقة تساوى ٥٧٣٠° مطلقة تقريباً وقد تبين أن نصيب سطح الأرض من الطاقة الشمسية يبلغ نحو ١ : ٢٠٠٠ بليون من جملة طاقة الشمس .

وينبعث من الشمس ثلاثة أنواع من الأشعة هى :

أ ـ الأشعة الحرارية : Thermal rays

وتعرف كذلك باسم الأشعة تحت الحمراء Infra-red rays وهى أشعة غير مرئية للطيف الكهرومغنطيسى . وتنتمى لمجموعة الأشعة ذات الموجات الطويلة Longer waves ، حيث يتراوح طول موجاتها من ٠,٧٥ إلى ٤,٠ ميكرون [1] ، وتقدر نسبتها بنحو ٤٦٪ من جملة الإشعاع الشمسى .

ب ـ الأشعة الضوئية : Sun-light rays

وهى أشعة مرئية وتقدر نسبتها بنحو ٤٥٪ من جملة الإشعاع الشمسى ، ويتراوح طول موجاتها من ٠,٤٠ إلى ٠,٧٤ ميكرون .

جـ-الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية : Violet and ultra violet rays

وتعرف أحياناً باسم الأشعة الحيوية ولا تزيد نسبتها عن ٩٠٪ من جملة الإشعاع ويتراوح طول موجاتها من ٠,١٧ إلى ٠,٤٠[1] ميكرون .

مورفولوجية الشمس وخصائصها العامة :

اسهمت الدراسات الفلكية الحديثة باستخدام المراقب الفلكية المطورة ومراقب التحليل الطيفى وتسجيل المجالات الكهرومغنطيسية الضوئية فى معرفة الكثير عن الخصائص العامة لنجم الشمس ومورفولوجيته . ويقسم علماء الفلك الشمس ومجالاتها إلى الآتى :

(١) قرص الشمس المضىء : الفوتوسفير Photosphere

ويقصد بذلك قرص الشمس نفسه الذى يسطع فى السماء ، ويبلغ نصف قطره حوالى ٧٠٠,٠٠٠كم . وقد وصف بالمضىء أو السراج ذلك لأنه عبارة عن المنطقة التى يأتى منها معظم ضوء الشمس ، والتى تحدث فيها التفاعلات النووية بين غازات الشمس ليبقى لهيبها مستمراً إلى يوم

---

(١) د. حسن أبو العينين : « المرجع السابق »
والميكرون هو وحدة قياس موجات الضوء = ١/١٠٠٠ من المليمتر .

الدين ولتنير الشمس نفسها بنفسها بمشئية الله عز وجل ، وليشع الضوء منها ويسقط على أسطح الكواكب التى تقع فى فلكها وتحت تأثير جاذبيتها ، إلا أن الشمس لا ينتهى مجالها عند قرص الشمس نفسه ، بل يمتد لمسافات بعيدة جداً عن قرص الشمس، ويشغل نطاقين يعرفان باسم الغلاف الغازى الشمسىChromosphere والإكليل الشمسى Corona.

وعند فحص قرص الشمس بالمراقب الفلكية يتبين أنه سطح خشن ، وكأنه مكون من بلايين من الحبيبات الدقيقة الحجم التى تشبه حبات الأرز المجاورة لبعضها البعض . وتميز هذه الحبيبات سطح قرص الشمس بالتبرغل أو بالتحبب Granulation ، وذلك لأن بعض أقسام الغاز فى قرص الشمس أشد حرارة من الأقسام الأخرى (١) . ويقدر عدد الحبيبات البارزة فى سطح قرص الشمس بأكثر من ٤ بليون حبيبة ، وتمثل كل منها سحابة غازية ساخنة ، ويمكن تصويرها بآلات خاصة من سطح الأرض ، حيث يتراوح حجم كل منها من ٣٠٠ إلى ١٤٥٠ كم٣ . وقد تبين أن معظ هذه الحبيبات مضلعة الشكل Polygonal ، ويبدو النوع المثالى منها ساطعاًBright Granule ولا يزيد قطره على ١٥٠٠ كم .

ومع مرور الوقت تنقسم الحبة إلى حبيبات أصغر حجماً ، ثم تتلاشى بعد ذلك ليتكون غيرها من الحبيبات الغازية من جديد مع استمرار حدوث التفاعلات النووية فى باطن قرص الشمس . وتندفع هذه الحبيبات الغازية الساخنة إلى أعلى بمعدل $\frac{1}{2}$ كم/ الثانية مع انبعاث الطاقة الشمسية ، ثم تقل سرعتها وتبرد الغازات فيها نسبياً عند وصولها إلى هوامش نطاق الحبيبات التى تتشكل هنا بخطوط داكنة غير منتظمة الشكل . وتقل درجة حرارة محيط قرص الشمس عن جوفه ، ويطلق على الحواف الخارجية لقرص الشمس الأبرد نسبياً تعبير الطنف القاتم Limb Darkening. وهى خاصية يتكرر حدوثها بالنسبة لكل الشموس الأخرى المنتشرة فى الفضاء السماوى مما يدل على ارتفاع درجة حرارة جوف النجوم عن درجة حرارة أسطحها وحوافها .

---

(1) a - Encyclopedia Americana, Vol. 7 p.510.

(٢) الغلاف الغازى الشمسى : Chromosphere

يمثل نطاق الغلاف الغازى الشمسى طبقة شفافة نسبياً تمتد من الحواف الخارجية لقرص الشمس المضىء حتى الحواف الداخلية لنطاق الإكليل الشمسى Corona لمسافة تتراوح من ٧٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠كم . وترتفع درجة حرارة الغلاف الغازى الشمسى من أسفل إلى أعلى (أى من هوامش قرص الشمس المضىء إلى أعلى فى الفضاء) ، حيث تتراوح من ٤٥٠٠ درجة مطلقة k° إلى ١ مليون درجة مطلقة k . كما تختلف كثافة الغازات فى هذا الغلاف من قسم إلى آخر ، حيث تبلغ الكثافة عند قاعدة الغلاف الشمسى نحو ١٠^١٢ جزء/سم٣ فى حين تصل إلى نحو ١٠^٩ جزء/سم٣ عند أعاليه ، أى تتناقص الكثافة كلما اتجهنا إلى أعلى بعيداً عن قرص الشمس المضىء ويلاحظ أن هناك توافقا عكسيا بين مقدار كثافة الغازات الشمسية ودرجة حرارتها . فكلما انخفضت الكثافة ترتفع درجة الحرارة . وعند ارتفاع ٢٠٠٠كم فوق قرص الشمس المضىء (فى الغلاف الغازى الشمسى) تبلغ درجة الحرارة نحو k°٧٠٠ وعلى ارتفاع ٤٠٠٠ كم ترتفع إلى k°٢٠,٠٠٠ . وعند أعالى الغلاف الغازى الشمسى على ارتفاع ١٠٠٠٠كم من قرص الشمس المضىء ترتفع درجة الحرارة ارتفاعاً سريعاً إلى نحو k١٠٠,٠٠ ، ويستمر ارتفاع درجة الحرارة مع الصعود إلى أعلى فى الفضاء السماوى بالجو المحيط بالشمس . ففى الإكليل الشمسى على ارتفاع ١٠٠,٠٠٠كم من قرص الشمس تقترب درجة الحرارة من مليون درجة . (تبلغ فى باطن قرص الشمس نحو ٢٠ مليون k) . ويلاحظ أن المقصود بدرجة هنا هو متوسط حركة الجسيمات . ومن ثم يطلق البعض عليها تعبير « درجة الحرارة الحركية Kinetic Temperature » ، حيث تزداد سرعة حركة الجسيمات مع زيادة الارتفاع فى الغلاف الغازى الشمسى . أما درجة الحرارة فى باطن قرص الشمس فيقصد بها « درجة الحرارة الغازية » . إذ لو كانت درجة حرارة الغازات فى الغلاف الغازى الشمسى ليست درجة حركية وإنما درجات فعلية تصل إلى مليون مْ لكان الجو أشد لمعانا بكثير عما هو فى قرص الشمس نفسه ، بل وكان

الإشعاع الصادر من الغلاف الشمسي من القوة والشدة بحيث يكون كافياً لصهر الكواكب . ومن ثم فإن حرارة الغلاف الغازي الشمسي من النوع الحركي لاستمرار الحياة على سطح كوكب الأرض [1] .

ويتميز الغلاف الغازي الشمسي بشدة نشاطه ، وتنبعث منه عند حدوث كسوف الشمس توهجات الطيف (أو طيف الوميض) Flash Spectrum . وينبثق من الغازات الساخنة في القسم الأسفل منه نافورات غازية هائلة الحجم تعرف باسم ألسنة التيارات البراقة Spicules ويبلغ قطر الواحدة منها نحو ٥٠٠كم ، وتندفع نيرانها إلى أعلى بسرعة تتراوح من ٢٠ إلى ٣٠كم/ الثانية،ولا يزيد طول فترة اندفاع الواحدة منها على بضع دقائق،ويصل درجة حرارة العمود أولسان التيار الغازي إلى ١٠,٠٠٠ درجة مطلقة k في جوفه وإلى نحو ٥٠,٠٠٠ درجة مطلقة k عند سطحه .

(٣) الإكليل الشمسي : Corona

يمتد نطاق الإكليل الشمسي فوق طبقة الغلاف الغازي الشمسي الداخلي أو القرمزي ، وهذا النطاق يحيط بالشمس كأنه إكليل لها لمسافات هائلة يصعب تحديدها ، وإن كان يتضمن كل نطاق كواكب المجموعة الشمسية والتي تسقط الشمس عليها أشعتها الحرارية والضوئية . ويتألف الإكليل الشمسي من غازات نقية وشديدة التوهج ومرتفعة الحرارة وتقدر درجة توهجها بنحو ١:١ مليون من مقدار توهج قرص الشمس المضيء نفسه . وتقل درجة اللمعان والتوهج كلما بعدنا عن قرص الشمس ، وتبلغ درجة الحرارة الحركية لغازات الإكليل الشمسي نحو ٢ مليون درجة مطلقة K . وتتبخر الغازات في هذا النطاق بسرعة شديدة وينتج عن ذلك اندفاع الجزيئات الغازية المشحونة كهربائياً إلى أعلى ويطلق عليها تعبير الرياح الشمسية Solar Winds . وقد يمتد نطاقها إلى قرب موقع كوكب الأرض . وتبلغ كثافة الغازات في الإكليل الشمسي العالي التأين

(١) فرد هويل : « مشارف علم الفلك » ترجمة إسماعيل حقي - مجموعة الألف كتاب ، رقم ٤٦٣ - دار الكرنك - القاهرة (١٩٦٣) ص ١٣٨ - ١٤٠ .

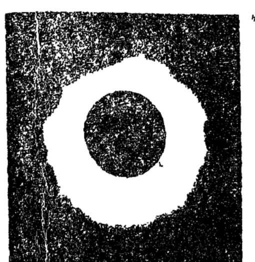
نحو ٥ × ١٠^{٨} ذرة/سم^{٣} ، وتتراوح درجة حرارته الحركية من ١,٥ إلى ٢,٥ مليون درجة مطلقة . ويستمد الإكليل الشمسى حرارته من اندفاعات الحبيبات الشمسية عند قرص الشمس المضىء ومن اندفاع نافورات التيارات البراقة فى الغلاف الغازى الشمسى القرمزى . (شكل ١١) .

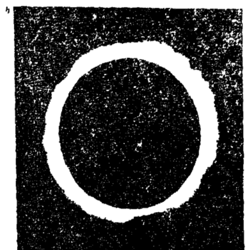
ويفسر العلماء ارتفاع درجة الحرارة الحركية فى الإكليل الشمسى إلى خصائص التموجات الصوتية وإلى المجالات المغنطيسية لقرص الشمس المضىء كذلك ، والتى أظهرها وأشدها قوة تلك التى تتمثل فى البقع الشمسية . وعلى ذلك تنساب الطاقة من باطن قرص الشمس عن طريق الإشعاع وفى الثلث الأعلى منه تنساب الطاقة عن طريق الحمل نتيجة لتقلب الغازات الشمسية وغليانها ، أما عند سطح قرص الشمس نفسه فتنساب الطاقة مرة أخرى عن طريق الإشعاع .

وعلى ذلك تتدفق الطاقة من الشمس بصورة مستمرة عبر ملايين السنين دون أن تتعرض للفناء ، وذلك لتعرض ذرات الغازات فيها للإثارة ، بحيث ينبثق منها طاقة على شكل موجات إشعاعية وحرارية وضوئية وفوق الضوئية وأشعة إكس وأشعة جاما . وفى باطن قرص الشمس تكون الذرات كلها متراصة تراصا شديداً بفعل انضغاط ملايين الذرات ووقوع بعضها فوق البعض الآخر . وعندما تنقسم نواة الذرة إلى قسمين يتحولان بدورهما إلى نواتين لذرتين بسيطتين ، بينما يتحول قسم صغير من النواة إلى كمية هائلة من الضوء والحرارة أو إلى أى نوع آخر من الطاقة .

ثالثاً : كواكب المجموعة الشمسية :

يقصد بكواكب المجموعة الشمسية أو ما يسمى بالنظام الشمسى The Planets of the Solar System مجموعة الكواكب التابعة لنجم الشمس والتى تتأثر بجاذبية الشمس ، ويدور كل منها فى مدار خاص به حول الشمس من الغرب إلى الشرق . أما الأقمار Satellites فهى توابع للكواكب وتتأثر بجاذبيتها وتدور فى مدارات حولها . وتختلف مجموعة





(شكل ١١) قرص الشمس المضئ

الشهب والنيازك والمذنبات عن النجوم والكواكب والأقمار فى حركتها ، حيث إنه ليس لها مدارات إهليلجية أو شبه دائرية منتظمة ، بل تندفع فى حركتها فى الفضاء السماوى فى اتجاهات مختلفة ، وتدخل فى نطاق المجموعة الشمسية تارة ، ثم تندفع وتخرج بعيداً عنها تارة أخرى ، فهى كالمقذوفات النارية الهائلة السرعة .

وتتألف كواكب المجموعة الشمسية من عطارد -Mercu ry والزهرة Venus والمريخ Mars والكويكبات Asteroids والمشترى Jupiter وزحل Saturn وأورانوس Uranus ونبتون Neptune وبلوتو Pluto ولكل من هذه الكواكب حركة محورية وقوة طرد مركزية أسهمتا فى احتفاظ كل كوكب بموقعة فى مداره الانتقالى وعدم التصاقه بجسم الشمس .

واكتشف العالم نيوتن سبب عدم التصاق الكواكب بنجومها فى قانونه عن قوة الجذب بين الكواكب والتى تتناسب مع (ك×ك١)/ف٢ . فقد أكد نيوتن أن كلا من أفراد المجموعة الشمسية يقع فى مدار خاص به لا يحيد عنه تبعا لتناسب العلاقة بين قوة جذب الشمس وكتلتها «ك» بالنسبة لكتلة الكوكب المنجذب إليها «ك١» ومربع المسافة الفاصلة بين مركزيهما «ف٢» .

وتحتل كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها التابعة لها والمذنبات والشهب والنيازك وأمهم جميعا الشمس جزءاً صغيراً من مجرتنا درب التبانة ، ويبلغ سمك هذه المجرة نحو عشرة آلاف سنة ضوئية ، وتدور حول نفسها بسرعة ٥١٥ كم / الثانية ، ويوجد فيها أكثر من ١٠٠ مليون نجم . وإن بعض نجومها أكبر حجماً من الشمس وأشد إلتماعاً منها .

وتمثل الشمس أكثر من ٩٩ ٪ من إجمالى كتلة المجموعة الشمسية ، وتقدر كتلتها بنحو ١٩٨٩ × ١٠^٣٠ كم٣ أى أكثر من ٣٣٣ ألف مثل لكتلة الأرض ، وإذا كانت بقية كواكب المجموعة الشمسية تمثل ١ ٪ من إجمالى كتلة المجموعة الشمسية فإن كتلتى كوكب المشترى وكوكب زحل تبلغ ٩٠ ٪ من إجمالى كتلة كواكب المجموعة الشمسية مجتمعة .

أسطح الكواكب :

تتكون أسطح كواكب المجموعة الشمسية من مواد لها خاصية انعكاس الأشعة الشمسية الساقطة عليها ، ومن ثم تبدو جميعها منيرة فى الفضاء السماوى على الرغم من أنها قاتمة معتمة لا يصدر عنها ضوء . وترتفع نسبة السليكات فى القشرة الخارجية لسطح الكواكب . وتختلف نسبة وجود الغازات الطيارة وثانى أكسيد الكربون والمياه من كوكب إلى آخر (١) . هذه الاختلافات البيئية هى لكل كوكب من بين أسباب تميز كوكب عطارد بحرارته الجهنمية العالمية ، وبتكوين الفتحات المجوفة العميقة فى سطحه ، كما أنها هى التى حولت كوكب الزهرة إلى سطح جحيمى غازى خانق Suffocating Inferno فى حين أدت إلى كثرة حدوث الفيضانات

الكبرى Mega Floods فوق سطح المريخ وميزته بمناخه القطبى ليلا وبحرارته المرتفعة جداً نهاراً . وتتعرض أسطح الكواكب التى ليس لها غلاف غازى لفعل تساقط بقايا الشهب والنيازك عليها وتشكيل سطح هذه الكواكب بالحفر العميقة والتجويفات الهائلة الحجم .

الغلاف الغازى للكواكب :

حسب قوة الثورانات والتفاعلات التكتونية فى باطن بعض الكواكب قد تنبثق من جوفها موادا غازية ، وتتجمع فوق أسطحها (إذا ما سمحت قوة جاذبيتها بذلك) ، وقد ينعدم خروج الغازات الجوفية من بعض الكواكب الأخرى . ومن ثم فإن بعض الكواكب لها غلاف غازى وبعضها الآخر ليس لها غلاف غازى . وتختلف مكونات الأغلفة الغازية وتركيبها الكيميائى حسب نوع المصهورات والمقذوفات الجوفية التى انبثقت من جوف كل كوكب . فالأرض لها غلاف غازى انبثق مع المصهورات البركانية التى اندفعت من باطن الأرض وتجمعت بفعل قوة جاذبية الأرض حول سطحها . ويتألف الغلاف الغازى الأرضى من ٧٧٪ نيتروجين ونحو ٢١٪ اكسجين ، وغازات أخرى . وقد أسهم الغلاف الغازى لكوكب الأرض فى تكوين مياه البحار والمحيطات وعظم حجم المسطحات المائية فيه حتى أنه يطلق على الأرض اسم « الكوكب المائى » . بينما الكوكب عطارد ليس له غلاف غازى ، ويتركب الغلاف الغازى لكوكب بلوتو من غاز الميثان CH_4 الذى لا يشجع نشوء حياة فيه مثل تلك التى على الأرض . ويتشابه التركيب الكيميائى للغلاف الغازى لكوكب الزهرة إلى حد ما مع مثيله حول كوكب المريخ فى أنه يتألف من ثانى أكسيد الكربون CO_2 (٩٦٪) ونيتروجين N_2 (٣,٥٪) ،وللمريخ غالف غازى يتركب من ٩٥٪ من ثانى أكسيد الكربون ونحو ٢,٧٪ نيتروجين ونحو ١,٦٪ أرجون (٢) . واندفعت هذه الغازات مع المصهورات البركانية القديمة .

أما الغلاف الغازى لمعظم الكواكب التى تقع بعيداً عن الشمس والكبيرة الحجم فإن وجد لها فإنه يتركب من غاز الهيدروجين H2 مع وجود نسبة صغيرة من غاز الهليوم . فالغلاف الغازى لكوكب المشترى يتكون من ٨٩٪ هيدروجين و١١٪ هليوم مع الغازات الأخرى بنسب قليلة جداً مثل الأمونيا (غاز النشادر) NH3 [(١)] .

أما زحل فإن غلافه الغازى يتركب من ٩٤٪ هيدروجين ونحو ٦٪ هليوم . وتحتوى كل هذه الأغلفة على قطرات من السوائل وأجسام صغيرة صلبة عالقة فيها . وينتج عن قطرات ثانى اكسيد الكبريت H2 SO4 تكوين السحب الساطعة bright clouds لكوكب الزهرة ، وتصل سرعة الرياح فى هذا الكوكب إلى ١٠٠ م/الثانية (٢٢٤ ميل / الساعة) .

وقد تظهر السحب المرئية لبعض الكواكب الكبيرة الحجم على شكل احزمة أو نطاقات كبرى تحيط بالمناطق الاستوائية منها، ومن أظهرها السحب الكثيفة ذات البقع الحمراء حول كوكب المشترى والسحب الباهتة اللون حول كوكب زحل . ويعزى لون السحب إلى مقدار نسبة الكبريت والجزئيات الهيدروكربونية فيها . ونتيجة لامتصاص غازات الهيدروجين للأشعة الحمراء تبدو سحب كوكب أورانوس وكوكب نبتون زرقاء اللون[(٢)].

كواكب المجموعة الشمسية وخصائصها العامة :

لم يعرف الإنسان كواكب المجموعة الشمسية إلا بعد مجهودات مضنية من الأبحاث الفلكية . وحتى أيام جاليليو (١٥٦٤ ـ ١٦٤٢ م) لم يكن معروفاً من كواكب المجموعة الشمسية سوى تلك القريبة من الأرض

(١) أ ـ د. حسن أبو العينين : « كوكب الأرض » ، الطبعة العاشرة ، الإسكندرية (١٩٨٨م) ، ص٦

(٢) نظراً لامتصاص الغلاف الجوى الأشعة البنفسجية ولما فيه من ذرات ترابية دقيقة الحجم تعكس الأشعة الشمسية ـ أكسب الغلاف الجوى الأرض لونها الذى يميل إلى الزرقة عند النظر إليها من الفضاء . بينما يعرف المريخ بالكوكب الأحمر ، وزحل بالكوكب الأصفر ، والزهرة بالكوكب الأبيض النير . ونشأ الغلاف الغازى للمريخ بفعل اندفاع المصهورات والغازات البركانية التى تعرض لها هذا الكوكب قديماً .

أو الأخرى الكبيرة الحجم . واكتشف الفلكيون كوكب أورانوس فى عام ١٧٨١م وكوكب نبتون فى عام ١٨٤٦م وكوكب بلوتو فى عام ١٩٣٠م (١) . وظل علماء الفلك يعتقدون لفترة طويلة بأن الفضاء السماوى حول الشمس يتألف من الكواكب السيارة الكبيرة الحجم ، ولكن فى عام ١٨٠١م تم كشف النقاب عن كوكب صغير الحجم أطلق عليه اسم سيرس Ceresيقع فيما بين مدارى كوكب المريخ وكوكب المشترى . ومع تطور تقنيات أجهزة الرصد الفلكية اكتشف العلماء ما يزيد على ٢٠٠٠ كويكب من مثل كويكب سيرس تقع جميعها فيما بين مدارى المريخ والمشترى . ويبلغ متوسط قطر كويكب سيرس (أكبر هذه المجموعة من الكويكبات حجما) نحو ٥٠٠ ميل ، فى حين يبلغ المتوسط العام لقطر كل من هذه الكويكبات نحو عشرة أميال فقط . وعند نهاية عام ١٩٨٠م ميز العلماء نحو ٣٥٠٠ كويكب ، ورجحوا بأن نشأتها تعزى إلى حدوث انفجارات فى بعض أجزاء الكواكب الكبيرة الحجم .

وتتركب الكويكبات من أجسام صغيرة الحجم تشبه فى تركيبها المعدنى تركيب صخور القمر . وتختلف درجة نورانية Albedo كل منها حسب تنوع التركيب الصخرى لأسطحها ، ومقدار انعكاس الأشعة الساقطة عليها . وتقل درجة النورانية عندما يتركب سطح الكويكب من نسبة عالية من الكوندريت الكربونى Carbonaceous Chondrite ، وتكون درجة النورانية متوسطة فى حالة تركيب سطح الكويكب من الحديد الصخرى Stony ironوعالية جداً عندما ترتفع نسبة الحديد والنيكل فى صخور الكويكب . وفيما يلى عرض موجز عن الخصائص العامة لبعض أفراد المجموعة الشمسية .

---

(١) د. حسن أبو العينين : « أصول الجيومورفولوجيا » ، الطبعة العاشرة - الإسكندرية (١٩٨٨م) ، ص ١٧٣ - ١٧٩ . والطبعة الحادية عشرة - الإسكندرية (١٩٩٥)
ب- حسن أبو العينين « من الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم » الجزء الأول - مع آيات الله فى السماء - مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٦) ص ١٧٢ .

الـزهـرة Venus :

يشبه كوكب الزهرة من حيث الحجم كوكب الأرض ، ومن ثم يعتبر بعض الفلكيين أن الزهرة أخت كوكب الأرض Sistert Planet ولكن يتضح أن كتلة كوكب الزهرة تبلغ نحو ٨/ ١٠ من كتلة الأرض ، ويبدو هذا الكوكب ببطء شديد جداً حول محوره من الشرق إلى الغرب ، كما يدور حول الشمس فى دورة انتقالية من الغرب إلى الشرق كل ٤٤٠ يوم . وقد تبين للعلماء بأن الوقت الذى تستغرقه الدورة المحورية لكوكب الزهرة أطول من الوقت الذى يستغرقه هذا الكوكب للدوران دورة انتقالية كاملة واحدة حول الشمس تبعا لبطء دورانه حول نفسه . وكان لذلك أثره فى تراكم السحب الغازية حول كوكب الزهرة وحجب الإشعاع المرتد من سطحه ، ومن ثم ارتفعت درجة حرارة سطح هذا الكوكب إلى درجة عالية جداً ، بحيث لا تناسب وجود حياة بشرية مماثلة لتلك الموجودة على كوكب الأرض . وفى يوم ١٤ ديسمبر عام ١٩٦٢م تمكنت سفينة الفضاء مرينر Mariner11.11 من أن تقترب من كوكب الزهرة بنحو ٢١,٦٠٠ ميل . وأرسلت إلى الأرض معلومات عديدة عن هذا الكوكب ، وأكدت أن سطح الزهرة شديد الجفاف والحرارة (نحو ٦٠٠ْ فى الأجزاء المنخفضة منه ، ونحو ٤٠ْ فى المناطق الجبلية المرتفعة غير المواجه للشمس) ، ويصعب وجود أى نوع من الحياة فوقه ولم يستطع العلماء حتى الوقت الحاضر تفسير الاختلاف فى تباين درجات الحرارة اليومية على سطح الزهرة .

كوكب الأرض وقمره :

الأرض كوكب من كواكب المجموعة الشمسية يبلغ متوسط قطره نحو ٧,٩٢٧ ميل ، ويزيد طول القطر الإستوائى على طول القطر بنحو ٢٧ ميل . ويرجح الباحثون بأن هذه الزيادة فى طول القطر الاستوائى ترجع إلى تأثير عمليات دوران الأرض حول نفسها وبفعل قوة الطرد المركزية وخاصة أثناء المراحل الأولى التى تكون خلالها كوكب الأرض .

---

(١) د. حسن أبو العينين : « كوكب الأرض » ، الإسكندرية ـ الطبعة العاشرة (١٩٨٨م) ، ص ٥ ـ ٢٠ .

(٢) د. حسن أبو العينين – المرجع السابق ص ٢٧ – ٤٦ .

وتدور الأرض حول الشمس دورة كاملة كل عام وينجم عن اختلاف موقع الأرض بالنسبة للشمس خلال فترة دورانها هذه تكوين الفصول الأربعة ، في حين تدور الأرض حول نفسها (حول محورها) دورة كاملة في اليوم الواحد ، وينشأ عن ذلك تعاقب الليل والنهار ، حيث يكون نصف الكرة الأرضية المواجه للشمس مضيئاً والنصف الآخر مظلما ، وتوضح البيانات الآتية بعض المعلومات الخاصة عن حجم الأرض ومساحتها وكثافتها .

أولا : بعض أطوال الأرض وأبعادها :

من بين المحاولات الأولى لمعرفة أبعاد الأرض التجربة التي قام بها عالم الرياضيات الفلكي الاسكندري ايراتوسين (١٧٦ - ١٩٦ ق م) لمحاولة إيجاد محيط الأرض . فقد لاحظ ايراتوستين اختلاف ميل أشعة الشمس عن سمت الراصد فيما بين الاسكندرية وأسوان على اعتقاد منه انهما تقعان على خط طول واحد . وكان مقدار هذه الزاوية ٥٧,٢ وتساوي المسافة بين المدينتين والتي قدرها بنحو ٥٠٠٠ فرسخا يونانيا . ومن تقديره لقوس هذه الزاوية استطاع أن يقدر محيط الكرة الأرضية بنحو ٢٥٢,٠٠٠ أستديا (الميل يبلغ نحو ١٠ استديات) أي نحو ٢٤٦٦٢ ميل (٣٩٥٠٠ كم) .

وفيما يلي بعض بيانات عن أبعاد الأرض :

نصف القطر القطبي	٣,٩٥٠ ميل (٦٣٥٧ كم)
نصف القطر الاستوائي	٣,٩٦٤ ميل (٦٣٧٨ كم)
متوسط نصف قطر الأرض	٣,٩٥٦ ميل (٦٣٧١ كم)
المحيط القطبي	٢٤,٩٠٠ ميل (٤٠,٠٠٩ كم)
المحيط الاستوائي	٢٤,٨٥٧ ميل (٤٠,٠٧٧ كم)

(قيمة التفلطح) درجة الأهليلجية الأرض ellipticity مقدار

(١) د. حسن أبو العينين - المرجع السابق ، ص ٢٧ - ٤٦ .

التناقص عن الشكل الدائرى المنتظم)

قيمة التفلطح = (القطر الاستوائى - القطر القطبى) / القطر الاستوائى = ١ / ٢٩٧

ثانيا : حجم الأرض :

حجم الأرض عامة ٢٦٠ بليون ميل٣ (١,٠٨ × ١٠^٨ كم٣)

حجم المسطحات المائية ٣٣٠ مليون ميل٣ (١,٣٧٠ × ١٠^٦ كم٣)

حجم قشرة الأرض Crust ٢ بليون ميل٣ (٦,٢١٠ × ١٠^٦ كم٣)

حجم القشرة الغطائية للأرض Mantle

٢١٦ بليون ميل٣ (٨٩٨٠٠٠ × ١٠^٦ كم٣)

حجم باطن الأرض Core ٤١ بليون ميل٣ (١٧٥,٥٠٠ × ١٠^٦ كم٣)

ثالثا : كثافة الأرض : (على أساس كثافة المياه = ١)

متوسط كثافة الأرض ٥,٢٥

كثافة قشرة الأرض ٢,٨٥

كثافة القشرة الغطائية للأرض ٤,٥٣

كثافة باطن الأرض ١٠,٧٠

رابعاً : مساحة الأرض :

مساحة سطح الكرة الأرضية

١٩٨ مليون ميل٢ (٥١٠ × ١٠^٦ كم٢)

مساحة اليابس (٢٩,٢٢٪ من مساحة الكرة الأرضية)

٥٧,٥ مليون ميل٢ (١٤٩ × ١٠^٦ كم٢)

مساحة المسطحات المائية (٧٠,٧٨٪ من مساحة الكرة الأرضية)

١٣٩,٤ مليون ميل٢ (٣٦١ × ١٠^٦ كم٢)

مساحة اليابس مع مساحة الرفارف القارية

١٢٨,٤ مليون ميل٢ (٣٢٢,٦ × ١٠^٦ كم٢)

خامساً : مناسيب الأرض :

أعلى ارتفاع لليابس (قمة أفرست)	٢٩,٠٢٨ قدم (٨,٨٤٨م)
أكبر عمق معروف للماء (بخانق ماريانا)	٣٦,١٩٨ قدم (١١,٠٣٣م)
متوسط ارتفاع اليابس	٢,٧٥٧ قدم (٨٤٠ م)
متوسط أعماق المحيطات	١٢,٤٦٠ قدن (٣,٨٠٨م)

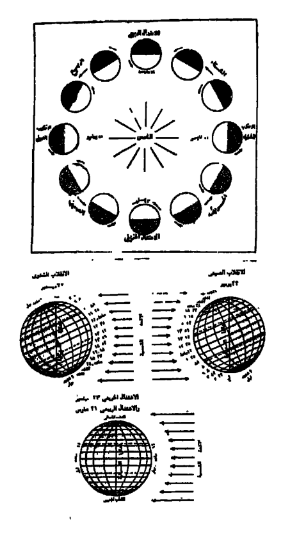
سادساً : حركة الأرض ودورانها :

للأرض حركتان . تعرف الحركة الأولى باسم الحركة المحورية أو الدورانية حيث تدور الأرض حول محورها الوهمى من الغرب إلى الشرق . وتعرف الحركة الثانية باسم الحركة الانتقالية حيث تدور فيها الأرض حول الشمس من الغرب إلى الشرق أيضا فى مدار أهليلجى خاص بها لا يتغير ولكن تنتقل الأرض فى هذا المدار من مكان إلى آخر على مدار السنة ويفسر العلماء سبب عدم تغيير الأرض لمدارها (وكذلك الحال بالنسبة لمدارات الكواكب الأخرى حول الشمس) بالعلاقة الممثلة فى قانون الجذب لنيوتن حيث إن قوة الجذب تتناسب مع $\frac{ك١ \times ك٢}{ف٢}$

ولا يشعر الانسان بحركة دوران الأرض حول محورها ذلك لأن كل ما يحيط به يتحرك معه فى نفس الاتجاه . ولكن تختلف سرعة الدوران على سطح الأرض باختلاف الموقع بالنسبة لدوائر العرض المختلفة . فسرعة دوران الأرض عند نقطة القطب تكون معدومة ، فى حين تصل إلى نحو ٣١٢ متر فى الثانية عند دائرة عرض ٥٠° (شمالا أو جنوبا) وتبلغ أقصاها عند الدائرة الاستوائية حيث تصل سرعة دوران الأرض إلى نحو ٤٦٥ متراً فى الثانية (شكل ١٢) أ،ب) .

ويلاحظ أن كل ما يتمثل على سطح الأرض من منشآت عمرانية ومياه البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات وكذلك الغلاف الغازى الذى يقع فوق سطح الأرض لا يتعرض للسقوط مع دوران الأرض حول نفسها أو حول الشمس ، ذلك لأنها جميعا تتأثر بفعل قوة الجاذبية الأرضية .

وبدون هذا الفعل الأخير فإن هواء الغلاف الغازى قد يصعد إلى أعلى ويبعد عن الأرض حتى تصبح الأرض دون غلاف جوى وتنعدم الحياة عليها . وأوضح العلماء بأن الأرض اكتسبت قوة جاذبيتها تبعا لتجمع المواد الثقيلة الوزن جداً العالية الكثافة فى باطنها والتى نتجت هى الأخرى تبعا لدوران الأرض حول محورها منذ بداية ميلادها إلى يوم الدين .



(شكل ١١٢ ، ب) حدوث الفصول الأربعة وتعاقب الليل والنهار

على سطح الكرة الأرضية .

وتدور الأرض حول محورها الوهمى دورة واحدة كاملة كل ٢٣ ساعة و ٥٦ دقيقة و ٤ ثوانى ، وتعد هذه المدة الزمنية هى المدة الفاصلة بين رؤية نجم ثابت ثم رؤيته مرة ثانية من نفس المكان وتسمى هذه المدة باليوم النجمى . أما اليوم الشمسى فإنه أطول من اليوم النجمى بنحو ٣ دقائق و ٥٦ ثانية (٢٤ ساعة تماماً) ويحسب اليوم الشمسى بنفس حساب اليوم النجمى إلا أن النجم الثابت فى هذه الحالة هو الشمس . أو بمعنى أخر فإن اليوم الشمسى هو عبارة عن المدة التى تنقضى بين مرور الشمس على خط زوال واحد مرتين متتاليتين (١) .

وينتج عن دوران الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق تعاقب حدوث الليل والنهار ، حيث إن النصف الكروى من الأرض الذى يواجه الشمس يصبح مضيئاً فى حين يكون النصف الآخر معتماً . فلو كانت الأرض لا تحدث فيها هذه الحركة المحورية لقسمت الأرض إلى نصف مضىء دائم وأخر معتم ثابت .

وقد لا حظ « فيرل » انحراف الأجسام المتحركة فوق سطح الأرض عن اتجاهها الأصلى مع هذه الحركة المحورية للأرض . ويختلف هذا الانحراف فى نصفى الكرة . وهكذا يتبين أن الرياح التجارية الشمالية الشرقية فى نصف الكرة الشمالى تنحرف على يسار اتجاهها فى نصف الكرة الجنوبى وتصبح شمالية غربية أما الرياح التجارية الجنوبية الشرقية فى نصف الكرة الجنوبى تنحرف على يمين اتجاهها فى نصف الكرة الشمالى وتصبح جنوبية غربية .

---

(١) يزيد اليوم الشمسى عن اليوم النجمى بـ ٣ دقائق و ٥٦ ثانية ذلك لأن الأرض إذا اتمت حركة كاملة حول محورها الوهمى أمام النجوم فإنها تكون قد قطعت جزءاً من مسارها حول الشمس يقدر بنحو ١/٣٦٥ من هذا المسار . اى أن اليوم الشمسى - اليوم النجمى = ١/٣٦٥ من اليوم

اى يساوى ١/٣٦٥ × ٢٤ × ٦٠ = ٥٦ ثانية و ٣ دقيقة

على ذلك فإن السنة الشمسية = ٣٦٥,٢٤ يوما شمسياً

= ٣٦٦,٢٤ يوما نجمياً

أما الحركة الثانية فهى الحركة الانتقالية السنوية للأرض فى مدارها الإهليلجى حول الشمس ويطلق أحياناً على هذا المدار اسم الدائرة الكسوفية . وتميل هذه الدائرة الأخيرة عن دائرة خط الاستواء السماوية بزاوية مقدارها ٢٣,٥ ْ . وحيث إن مدار الأرض حول الشمس أهليلجياً ، فإن المسافة بين الشمس والأرض ليست متساوية تماماً فى المواقع المختلفة على طول هذا المدار الإهليلجى ، ويطلق على أقرب نقطة للأرض عن الشمس اسم نقطة الحضيض وتبلغ نحو ١٤٧ مليون كم فى حين يطلق على أبعد نقطة عن الشمس **نقطة الأوج** وتبلغ نحو ١٥٢ مليون كم .

وعند دوران الأرض فى مدارها حول الشمس فإنها لا تغير من محورها المائل (الذى يميل عن المحور العمودى على مسار الأرض بزاوية ٢٣,٥ ْ) بل يظل هذا المحور المائل موازياً دائماً لنفسه فى مختلف المواقع على طول المدار وينجم عن ذلك تغير تعامد الشمس على الأرض على مدار السنة . وهكذا أدى ميل محور الأرض أثناء دورانها حول الشمس الى اختلاف مساحة أجزاء سطح الأرض المعرضة للشمس فى مختلف دوائر العرض بنصفى الكرة الأرضية ، ومن ثم فإن اختلاف طول الليل والنهار وحدوث الفصول الأربعة (فى الشتاء والربيع والصيف والخريف) تعد نتيجة للدورة السنوية للأرض حول الشمس وميل محور الأرض على مستوى مدارها . ففى منتصف الربيع ومنتصف الخريف تكون الشمس متعامدة على خط الاستواء وعلى ذلك يتساوى طول الليل وطول النهار عند كل دوائر العض المختلفة وتعرف هذه الفترة (٢١ مارس ، ٢٣ سبتمبر) بالاعتدالين الربيعى والخريفى . أما فى منتصف الشتاء (الشمالى) تكون الشمس متعامدة على دائرة عرض ٢٣,٥جنوبا (مدار الجدى) وفى منتصف الصيف (الشمالى) تكون الشمس متعامدة على دائرة عرض ٢٣,٥ شمالا (مدار السرطان).

ويطلق العلماء على هاتين الفترتين الشتاء ، والصيف باسم

الانقلابين وخلالهما يختلف طول الليل والنهار على دوائر العرض المختلفة (نتيجة لميل محور الأرض) وعلى ذلك فإن نقطة القطب الشمالي تكون مضيئة ونهاراً دائماً (طوله ٢٤ ساعة) خلال فصل الصيف الشمالى فى حين أن نقطة القطب الجنوبى تكون مظلمة وليلاً دائماً (طوله ٢٤ ساعة) خلال نفس هذا الفصل (شكل ١١٢ ، ب) ويوضح الجدول الآتى اختلاف طول الليل والنهار عند دوائر العرض المختلفة خلال فترة الآنقلابين .

ونتيجة لدوران الأرض حول الشمس دورة كاملة خلال سنة تحدث الفصول الأربعة (الآعتدالين الربيعى ٢١ ماس ، والانقلاب الصيفى ٢١ يونيو ، والاعتدال الخريفى ٣٢ سبتمبر ، والانقلاب الشتوى ٢١ ديسمبر) .

دوائر العرض	الانقلاب الصيفى (ساعة)		الانقلاب الشتوى (ساعة)	
	دقيقة	ساعة	دقيقة	ساعة
الدائرة القطبية		٢٤		
٦٠	٣٠	١٨	٣٠	٥
٥٠	٩	١٦	٥١	٧
٤٠	٥١	١٤	٩	٩
٣٠	٥٦	١٣	٤	١٠
٢٠	١٣	١٣	٤٧	١٠
١٠	٣٥	١٢	٢٥	١١
الدائرة الاستوائية	٠٠	١٢	٠٠	١٢

ويستمد كوكب الأرض حرارته من الأشعة الشمسية الساقطة عليه ، ويعمل الغلاف الغازى الذى يحيط بكوكب الأرض على حمايته من الاشعاعات فوق البنفسجية وامتصاص الغازات الضارة ، وتلطيف درجة

حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض كما يعمل الغلاف الغازى كذلك على حماية كوكب الأرض من التأثير المباشر لتساقط الشهب والنيازك المحرقة على سطح الأرض [1] . ومن ثم تدين الأرض لغلافها الجوى بأسباب وجود الحياة على سطحها .

أما القمر : فهو كويكب تابع للأرض ويتميز بمنظره الجميل الساطع فى الفضاء الكونى . ويعد جاليليو أول من شاهد القمر خلال التلسكوب الفلكى وميز ظواهره الكبرى وأعطاها اسماء مختلفة وقد أطلق جاليليو على المناطق الواسعة السوداء من سطح القمر والتى تشبه البحار اسم « ماريا » Maria (جمع كلمة Mare اللاتينية ومعناها بحر) ، هذا على الرغم من أن هذه البحار (كما أثبت ذلك الانسان الذى نزل على سطح القمر فى يوليو عام ١٩٦٩ شكل ١٣) لا تحتوى على مياه . كما شاهد جاليليو السلاسل الجبلية الكبرى فوق سطح القمر ، والفوهات البركانية - أكبرها حجما فوهة كلافيوس Clavius والتى يبلغ قطرها نحو ١٤٦ ميل - وتجويفات السطح الناجمة عن تساقط الشهب والنيازك فوق سطح القمر . وعلى ذلك قسم الاستاذ W L Stokes [2] سطح القمر إلى إقليمين كبيرين هما :

أ - الأراضى القمرية المضرسة :

ويقصد بذلك مناطق المرتفعات وحقول الفوهات والنيازك والشهب ، وتتميز هذه الأراضى بلونها الفاتح ويطلق عليها الفلكيون اسم أراضى القمر Terrae.

ب - الأراضى القمرية السهلية :

ويقصد بذلك مناطق السهول الواسعة الحوضية الشكل الكبيرة الحجم . وتتميز هذه الأراضى بلونها القاتم ويطلق الفلكيون عليها اسم بحار القمر Maria (أنظر شكل ١٤)

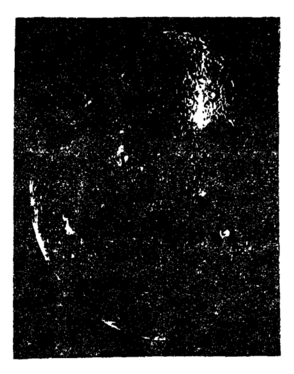
---

(١) من أشهر النيازك المحرقة التى سقطت على سطح الأرض تلك التى سقطت فوق سيبريا فى عام ١٩٠٨ وكونت حفرة هائلة للعمق والأبعاد

(2) William Lee Stokes, "Introduction to Geology" Prentice Hall (1968), P.457



(شكل ١٣) سفينة الفضاء أبوللو ١١ عند نزولها على سطح القمر



(شكل ١٤) الأراضي المضرسة على سطح القمر

ويرجع الأستاذ ستوكس بأن مواد القمر لم تتعرض للانصهار الكلى ، بل كانت بعض مواد القمر خلال نشاته الأولى شبه لزجة ، ومن ثم انسابت السنة من اللافا فوق سطح القمر عملت على تغطية فوهات القمر الصغيرة ، وتكوين بحار القمر . أو بمعنى آخر فإن حدوث هذه المصهورات فوق سطح القمر أدى إلى تشكيل سطحه الأصلى Proto - Moon Scape ، وظهورها بشكله الحالى بين جبال وفوهات مرتفعة شديدة التضرس ، وبحار واسعة مستوية السطح .

وقد أوضح الأستاذ هويل F. Hoyle بأن فوهات القمر فى المناطق المضرسة منه والتى تبلغ قطر أكبرها نحو ١٠٠ ميل (يزيد هذا القطر عن ١٠ أمثال أكبر فوهة بركانية على سطح الأرض) ، قد تكونت نتيجة لتساقط واصطدام الشهب والنيازك بسطح القمر ، ويرجع أن هذه المواد المتساقطة كانت تتحرك فى الفضاء بسرعة كبيرة جدا ، ومن ثم عند اصطدامها بسطح القمر غاصت فى سطحه وتغلغلت فى صخور قشرته وأدت إلى تكوين فوهات متسعة هائلة العمق . وتتغطى بحار القمر بفرشات سميكة من تراب القمر . ويعتقد الفلكيون أن هذه الكميات الهائلة من الأتربة القمرية تكونت نتيجة لتعرض سطح القمر للأشعة فوق البنفسجية وأشعة (X) التى تنهال عليه من الشمس وقد أدى ذلك إلى تفتيت صخور القمر وتحطيم التركيب البلورى لمكوناتها وتجمعت هذه المفتتات الترابية الدقيقة بالتدريج فى بحار القمر بفعل القوى الكهربائية وقوة الجاذبية . وقد أدت أشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة على سطح القمر إلى اتلاف ألوان صخور القمر وأصبحت الأخيرة ذات لون واحد هو اللون الرمادى .

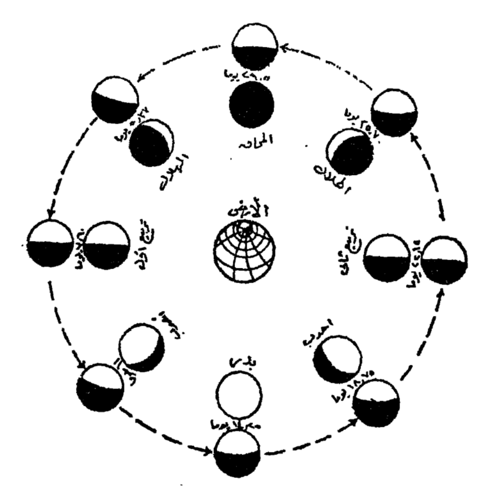
وقد أكدت سفينة الفضاء الأمريكية سرفايور Surveyor 1 -هبطت على سطح القمر فى ٢ يونيو عام ١٩٦٦ ـ ما تبين بعد نزول الانسان على سطح القمر فى أغسطس ١٩٦٩ ، بأن بحار القمر تتغطى بفرشات سميكة من الأتربة المخلخلة والهشة والعالية المسامية ، ويتبعثر فيها بعض المفتتات الصخرية الخشنة .

وتبعا لدوران القمر حول نفسه فى محور أفقى ، فإن الانسان (على سطح الأرض) لا يرى من القمر سوى وجه واحد فقط فى جميع الأوقات ، ويظل وجه القمر الآخر مختفيا . ولكن بفضل القمر الصناعى الروسى الذى اطلق فى ٤ اكتوبر عام ١٩٥٩ تمكنت الأرض من التقاط مرئيات فضائية للوجه الآخر من القمر . وقد تبين بأن هذا الوجه (غير المرئى من الأرض) لا يحتوى على الكثير من البحار القمرية « ماريا » التى تميز الجانب المواجه للأرض . وبفضل استخدام أجهزة التلسكوب الحديثة يمكن مشاهدة تفاصيل سطح القمر كمثل الذى ينظر إلى سطح الأرض بالعين المجردة وعلى بعد ٢٠٠ ميل . وحيث تبلغ كثافة القمر نحو ٣,٣ فى حين تبلغ كثافة الأرض نحو ٥,٥ فإن قوة الجاذبية على سطح القمر تعادل ١/٦ قوة الجاذبية على سطح الأرض .

ويدور القمر حول الأرض ، ويرى الانسان أوجه القمر بأشكال مختلفة تبعاً لموقع القمر بالنسبة للأرض والشمس وحجم القسم المنير منه. فعندما يقع القمر بين الأرض والشمس يكون القمر فى المحاق ، أما عندما تقع الأرض بين القمر والشمس فيكون القمر بدرا وعندما يتعامد المستقيمان الممتدان من مركز الأرض إلى كل من مركز الشمس ومركز القمر يأخذ القمر وضعه الأول ويعرف باسم التربيع الأول والتربيع الثانى أو الأخير . (شكل ١٥) .

كسوف الشمس وخسوف القمر :

يتضح مما سبق أن الأرض والقمر يستمدا الضوء من أشعة الشمس الساقطة عليها . وعلى ذلك لا يرى الانسان القمر إلا إذا كانت هناك أشعة شمسية تسقط عليه لكى تضيئه وتنعكس على سطح الأرض [١] . وهكذا يرى الملاحظ من الأرض كلا من الشمس والقمر فى بعض الأوقات الأخرى



شكل (١٥) أوجه القمر ودورانه حول الأرض

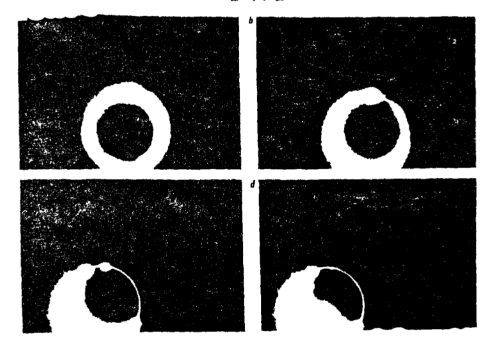
---

(١) تنقسم الحزم الضوئية إلى ثلاثة أنواع هي :

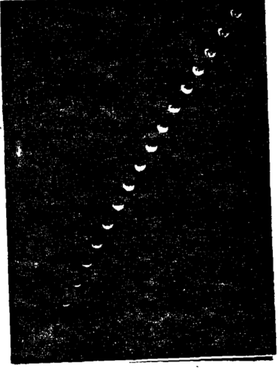
أ ـ حزمة ضوئية متفرقة : وهي عبارة عن مجموعة من أشعة ضوئية تخرج من نقطة مضيئة ثم تتباعد عن بعضها كلما بعدت عن هذه النقطة ومن أمثلتها الأشعة التي تنفذ من ثقب ضيق خلف جسم مضيء .

ب ـ حزمة ضوئية متوازية : وهي عبارة عن مجموعة من أشعة ضوئية متجاورة ومتوازية مثل أشعة الشمس الساقطة على سطح الأرض ، وفي الواقع فإن أشعة الشمس متفرقة ولكن تبعاً لبعد المسافة بين الشمس والأرض فإنها تعتبر أشعة متوازية .

جـ ـ حزمة ضوئية متجمعة : وهي عبارة عن مجموعة من أشعة ضوئية تخرج من نقطة مضيئة ثم تقترب من بعضها البعض كلما بعدت عن المصدر حتى تتجمع في نقطة واحدة ، ومن أمثلتها الأشعة المتجمعة بعد مرورها من عدسة محدبة .



(شكل ١٦) كسوف الشمس فى ٣٠ مايو ١٩٨٤ كما صُوِّر فى ولاية جورجيا بالولايات المتحدة - لاحظ موقع القمر بالنسبة لقرص الشمس .



(شكل ١٧)مراحل خسوف القمر

ومن المعروف أن من خصائص الأشعة الضوئية أنها تنتشر في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس ويكون انتشارها على هيئة حزم تعرف بالحزم الضوئية ، في حين أن الظلال تتكون نتيجة لاعتراض جسم ما معتم مجال أشعة الضوء . وهذا يفسر لنا أسباب حدوث عملية كسوف الشمس وخسوف القمر ، حيث إن هاتين الظاهرتين الطبيعيتين ينتج عنهما احتجاب رؤية الشمس أو القمر من الأرض نتيجة لانتشار أشعة الشمس المتوازية في خطوط مستقيمة ، ولأشكال ظل القمر على سطح الأرض وظل الأرض على سطح القمر .

على ذلك فإن **كسوف الشمس** Solar eclipe عبارة عن احتجاب كل ضوء الشمس أو جزء منه عن الأرض ، وهذا لا يحدث إلا إذا وقع القمر بين الأرض والشمس وأن تكون مراكز الأرض والشمس والقمر كلها على خط زوال واحد أى على استقامة واحدة . وفي هذه الحالة يحدث ثلاثة أنواع من الكسوف حسب مكان الملاحظ أو الراصد على الأرض وهي :

أ - كسوف الشمس الكلى Total Solar Eclipse : ويحدث بالنسبة للجزء الذى يقع في منطقة ظل القمر ، وتختفى فيه الشمس عن الراصد تماماً .

ب - كسوف الشمس الجزئى Partial Solar eclipse : ويحدث بالنسبة لأجزاء الأرض التى تقع في منطقة شبه الظل ، وفيه يلاحظ الراصد جزءاً من الشمس ويحتجز بقية جسم الشمس خلف القمر.

جـ - كسوف الشمس الحلقى Annular solar eclipse يحدث في أجزاء الأرض التى تقع في امتداد مخروط ظل القمر ، وتظهر الشمس للراصد على شكل قرص مظلم تحيط به حلقة مضيئة (شكل ١٦ وشكل ١٨) .

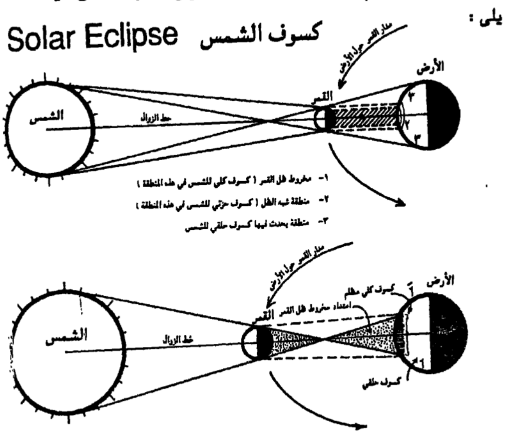
ويقصد بخسوف القمر Lunnar eclipse احتجاب كل ضوء القمر أو جزء من ضوئه عن الأرض .وهذا لا يحدث كذلك إلا إذا وقعت الأرض بين كل من الشمس والقمر عندما تكون مراكزهمَ على استقامة واحدة أى على

خط زوال واحد (شكل ١٧) وهناك نوعان من الخسوف هما :

أ ـ خسوف القمر الكلى Total Lunar eclipse، وفيه يختفى القمر تماماً ، ولا يظهر بالنسبة للراصد على سطح الأرض .

ب ـ خسوف القمر الجزئى : Partial lunar eclipse ويحدث عندما يقع جزء من القمر فى منطقة ظل الأرض ، والجزء الآخر يقع فى منطقة شبه الظل ، فيرى الملاحظ أن الجزء الأخير مضيئا ، أما الجزء الآخر الذى يقع فى منطقة الظل فيظهر معتماً . (شكل ١٩)

على ذلك فإن أهم أوجه الاختلاف بين الأرض والقمر تتلخص فيما يلى :



شكل (١٨) كسوف حلقى للشمس

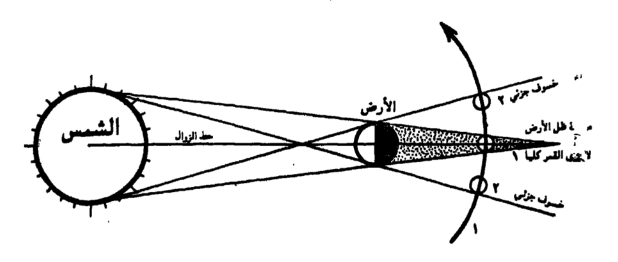
١ ـ تبلغ كثافة القمر ٣,٣ فى حين تبلغ كثافة الأرض ٥,٥ وهذا إن دل على شىء فإنما يدل على اختلاف التركيب المعدنى والكيميائى بين الأرض

والقمـر ، وأن القمـر يضم بعض المعادن الخـفيفة وأن مـجاليه المغناطيسى والكهربائى محدودان .

٢ ـ للأرض نواة داخلية أكبـر من حجم القـمر وأعلى منه كثافة حيث أنها تتألف من مواد معدنية ثقيلة ، فى حين لا يحتوى القمر على مثل هذه النواة المركزية . ومن ثم يمكن القـول بأن القـمـر لم يكن يتـركب من مـواد منصـهـرة تماما كـمـثل الأرض ولم يحـدث فـيه تـرتيب طباقى لمعادنه كـمـا حدث بالنسبه لمعادن الأرض .

٣ ـ يتـميـز سطح القـمـر بكثـرة الفوهات العـميـقة وتلك النـاجمة عن تساقط الشـهب والنيازك ، وهـذه الأخيرة نادرا ما تشاهـد على سطح الأرض . وربما كان سطح الأرض فى بداية نشأته متأثراً بمثل هذه الفوهات ، إلا أن عوامل التعـرية والتجوية والارساب أزالت اثار هـذه الفـوهـات من فوق سطح الأرض ، كـمـا يعـمل الغـلاف الغـازى المحـيط بـالأرض اليـوم على حـمـاية سطحها من تأثير تساقط الشـهب والنيازك .

خسوف القمر الكلي والجزئي
Lunar Eclipse



شكل (١٩) أشكال خسوف القمر

٤ - يتشكل سطح الأرض بفعل الحركات التكتونية الكبرى (مثل فعل البراكين والزلازل والالتواءات ...) فى حين لا يتأثر سطح القمر بمثل هذه الحركات .

المريخ Mars:

يتشكل سطح المريخ بألوان مختلفة ، فالقسم الأكبر منه ذو لون أبيض وقسم آخر صغير منه ذو لون قاتم ، واللون العام للمريخ هو اللون الأحمر ، ومن ثم يطلق عليه أحياناً اسم الكوكب الأحمر The Red Planet

ويعد المريخ أنسب كواكب المجموعة الشمسية - بعد الأرض - من حيث إمكانية وجود حياة ما فوق سطحه ، ويعزى السبب فى ذلك إلى وجود غلاف من ثانى أكسيد الكربون والنتروجين يحيط بالمريخ من جهة أخرى ، ويؤكد العلماء كذلك أن القمم الجبلية فى المريخ مغطاة بقلنسوات جليدية ينصهر بعضها خلال فصل الصيف وتؤدى إلى انسياب المياه على شكل غطاءات مائية قد تساعد على وجود حياة ما ، وخصوصاً فى المناطق الاستوائية من كوكب المريخ . وتبين من نتائج الدراسات الفلكية بأن الغلاف الجوى الذى يحيط كوكب المريخ لا يعد ساما تماماً ، ويتكون هذا الغلاف من نسبة مرتفعة من ثانى أكسيد الكربون (١٤ مثلا لنسبة ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى المحيط بالأرض) وغازات النتروجين وعند شروق الشمس على سطح المريخ تبلغ درجة حرارته نحو- ١٠٠° ف ، وعند الظهر ترتفع الحرارة إلى ٧٠٠° ف وتؤدى هذه الحرارة المرتفعة انصهار الثلج الرقيق السمك المتراكم فوق أعالى الجبال .

وقد اهتمت وكالة دراسات الفضاء الأمريكية بدراسة كوكب المريخ ، وقد استعانت فى سبيل ذلك بمركبة الفضاء الأمريكية التى أطلق عليها اسم « فايكنج ١ » ومركبة ثانية مزودة بأحدث ما توصل إليه التقدم العلمى وأطلق عليها اسم « فايكنج ٢ » .

وقد اختير موعد إطلاق مركبتى الفضاء فايكنج ١ ، ٢ عندما تكون المسافة بين الأرض والمريخ أقرب ما يكون ، وذلك لاستهلاك أقل قدر من

الطاقة ، وهى فرصة لا تتاح إلا مرة واحدة كل ٢٥ شهراً تقريباً . وقد أطلقت مركبتا فايكنج ١ ، ٢ فى يومى ١١ و ٢١ أغسطس ١٩٧٥م على التوالى وتستغرق الرحل من الأرض إلى المريخ عن طريق هاتين المركبتين نحو سنة كاملة .

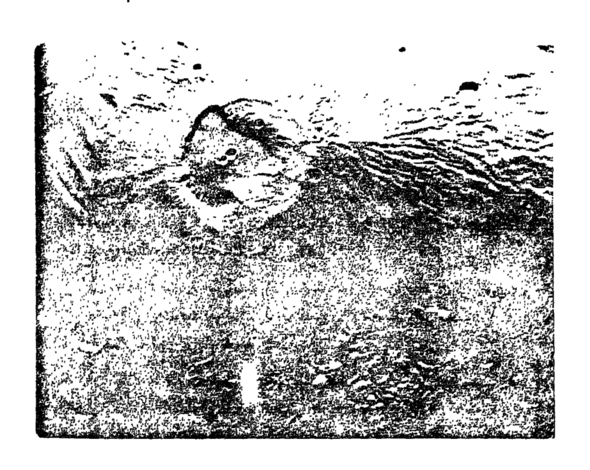
وقد زودت هاتان المركبتان بآلات تصوير متطورة للاستشعار من بعد وبحيث يمكنهما تصوير أشياء محددة حتى ٥٠ متراً من المدار الذى يبعد ١٥٠٠ كيلو متر حول المريخ ، كما زود كل من المركبتين بجهاز للكشف عن الماء فى الجو وبحيث يستطيع اكتشاف أى تركيزات من بخار الماء فوق أماكن الهبوط . وبعد هبوط المركبة يتجه الجهاز لاستكشاف بخار الماء فى أماكن أخرى وانشاء خرائط كاملة لتوزيع بخار الماء فى الغلاف الجوى للمريخ . وهذا الجهاز خاص بالتحليل الطيفى ويعمل بالأشعة تحت الحمراء وهو بالغ الدقة . كما أن هناك أجهزة أخرى لرسم خرائط حرارية للمريخ تعمل بالأشعة تحت الحمراء تستطيع اكتشاف وتحديد المناطق التى تختلف فى درجة حرارتها ولو بإختلاف بسيط جداً وتتمثل أهم النتائج العلمية الحديثة التى توصلت إليها مجموعة الباحثين القائمين على مشروع فايكنج لاكتشاف المريخ فى الآتى :

١ ـ أن درجة الحرارة على سطح المريخ منخفضة جداً ، حيث قد تصل إلى حوالى ٨٦° تحت الصفر بعد غروب الشمس وإلى نحو ٣٠° تحت الصفر المئوى فى منتصف النهار .

٢ ـ أن الضغط الجوى للمريخ ضعيف للغاية وقليل الكثافة ، حيث يقدر بنحو ١/١٠٠ من الضغط الجوى على سطح الأرض .

٣ ـ أن سطح المريخ عبارة عن صحراء تتلون ترتبها باللون الأحمر أو بلون الصدأ وتتغطى بطبقة رقيقة من أكاسيد الحديد . كما صرح الدكتور رونالد سكوت . وأوضح أن تربة المريخ (الرواسب السطحية) تتميز بجزيئاتها المتماسكة والمتلاحمة ، ومن ثم فهى تختلف اختلافاً كبيراً عن كثير من مناطق الرمال بالصحارى الحارة الجافة على سطح الأرض (شكل ٢٠) .

٤ - اكد العلماء كذلك أن أول نتائج تحاليل تربة المريخ لم تستبعد تماماً احتمالات وجود شكل من أشكال الحياة على هذا الكوكب ، وأن المكونات الأساسية لتربة المريخ هى الحديد والكالسيوم والسليكون والتيتانيوم والألومنيوم ، وأثار لمعادن أخرى مثل الربيديوم والسترونتيوم . كما اعلن الدكتور كلاين أن نتائج التجارب التى أجرتها « فايكنج ١ » على سطح المريخ قد أثبتت وجود كمية وفيرة من الأكسجين تحمل على الاعتقاد بأن هناك نوعاً من الحياة الدقيقة على سطح هذا الكوكب .



(شكل ٢٠) قمم أحد المخروطات البركانية فى كوكب المريخ ويرجح العلماء بأن براكينه أقدم عمراً من براكين كوكب الأرض

هذا ويتشكل سطح المريخ بالفوهات العميقة وتجويفات للنيازك والشهب إلا أنها أقل عدداً من تلك التى تتمثل على سطح القمر . ويتعرض سطح المريخ كثيراً لفعل العواصف الترابية الشديدة .

المشترى - زحل - أورانوس - نبتون :

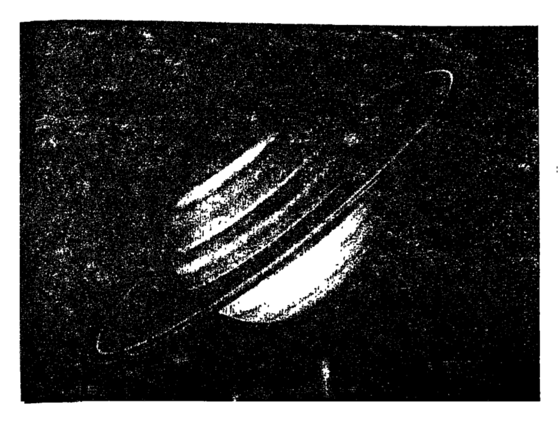
تتشابه هذه المجموعة من الكواكب فى أنها تدور بسرعة من ناحية ، كما أن لكل منها غطاء جويا يتألف أساسا من غازات الميثان والنشادر والهليوم والهيدروجين من ناحية أخرى ، وفى عدم وجود ملامح لأى نوع من الحياة فوق أى كوكب منها .

ويتبين أن للمشترى ١٢ قمرا تابعاً له ، وتبلغ كتلة المشترى نحو ٣٠٠ مثل لكتلة الأرض . ويزيد نصف قطرة عن ١٠ أمثال نصف قطر الأرض ، كما يزيد حجمه ١٠٠٠ مثل لحجم الأرض . ويدور المشترى حول نفسه بسرعة ، حيث يتم دورة كاملة حول محورة كل ٩ ساعات و ٥٥ دقيقة . ويظهر بالمشترى كثير من البقع الحمراء والتى شوهدت لأول مرة منذ عام ١٨٧٨م ولم تفسر نشأتها حتى الوقت الحاضر .

أما زحل فيميزه منظره الجميل فى الفضاء الكونى والهالة الحلقية التى تحيط به (شكل ٢١) . وتتألف هذه الهالة الحلقية من أجسام صغيرة كونية تدور جميعها حول كوكب زحل ، ومن المحتمل أن بعض هذه الأجسام الصغيرة مغلف بطبقة من الثلج . ولكوكب زحل تسعة أقمار ولأحدها ـ كويكب تيتان Titan ـ غلاف جوى سميك ويكثر فيه الثلج وغاز النشادر وبعض الغازات الخفيفة ، وتقدر الكثافة النوعية لزحل بنحو ٠,٧ .

ومن دراسة الخصائص الطبيعية للشمس وكواكب المجموعة الشمسية استطاع تيرفار فى عام ١٩٤٨م أن يستخلص أربع ملاحظات رئيسة تتلخص فيما يلى :

١ - أن مدارات كواكب المجموعة الشمسية عبارة عن مدارات إهليلجية ، أى قريبة من الدائرية ، وهى ظاهرة لاحظها كبلر (١٥٧١ - ١٦٣٠م) من قبل ، هذا وأن الكواكب تقع فى مستوى واحد ، وتدور جميعها حول الشمس فى اتجاه واحد من الغرب إلى الشرق .



شكل (٢١) الحلقات الغازية حول كوكب زحل ويدخل فيها بقايا

قطع صخرية وأتربة وثلوج

٢ ـ انتظام المسافة بين الكواكب والشمس وأن كل منها مداره الخاص

٣- اختلاف الكثافة بين كل كوكب وأخر ، بحيث تقل كثافة الكواكب بشكل عام مع البُعد عن نجم الشمس .

٤ ـ تنقسم كواكب المجموعة الشمسية إلى مجموعتين هما :

أ ـ الكواكب الداخلية : وتشمل عطارد والزهرة والأرض والمريخ . وتتميز بأنها كبيرة الحجم ، بطيئة الدوران ، عالية الكثافة ولبعضها عدد محدود من التوابع القمرية .

ويوضح الجدول الآتى العلاقة بين الكواكب السيارة الأربعة الداخلية من حيث متوسط بعدها عن الشمس وكتلتها وكثافتها .

الكوكب السيار	متوسط البعد عن الشمس	الكتلة	متوسط الكثافة
عطارد	.٣٨٧	٠,٠٥٤	٤,٥ – ٥,٠
الزهرة	٠,٧٢٣	٠,٨١٣	٤,٨
الأرض	١,٠٠٠	١,٠٠٠	٥,٥
المريخ	١,٥٢٣	٠,١٠٨	٤,٠ – ٤,٢

ومن المعلوم أن الأرض تدور حول الشمس فى مسار شبه دائرى، يبعد عن الشمس فى المتوسط بنحو ١٥٠ مليون كم ، وقد اعتبرت هذه المسافة تساوى العدد ١ ومن دراسة هذا الجدول يتضح كذلك أن الأرض أكبر هذه الكواكب السيارة من حيث الكتلة (كتلة جسم ما هى إلا مقياس لمقدار ما يحتويه من مادة) وإذا كانت كتلة الأرض تساوى ١ ، فإن كمية المادة التى تتمثل بالمريخ تقدر بنحو ١٠٪ من كمية المادة التى تتمثل بالأرض ، أما عطارد فكتلته نحو ٥٪ من كتلة الأرض والزهرة نحو ٨١٪ من كتلة الأرض . وتعد الأرض كذلك أكبر هذه الكواكب السيارة من حيث متوسط كثافتها التى تقدر بنحو ٥,٥ . وتعد هذه الأرقام فى الجدول نسبية ومقربة إلى حد ما ، وذلك يرجع إلى صعوبة عمليات قياس كثافة الكواكب بدقة ، وخاصة أن عطارد يعد قريبا من الشمس ، بينما يحيط بالمريخ هالة من الغازات تحول دون تحديد كثافته بدقة .

ب - **الكواكب الخارجية** : وتشمل المشترى وزحل وأورانوس ونبتون ، وهى كبيرة الحجم ، محدودة الكثافة ، سريعة الدوران ولبعضها عدد كبير من التوابع القمرية .

ويوضح الجدول الآتى العلاقة بين هذه الكواكب السيارة الخارجية أو الكبرى من حيث متوسط بعد كل منها عن الشمس واختلاف كتلتها وكثافتها .

الكوكب السيار	متوسط البعد عن الشمس	الكتلة	متوسط الكثافة
المشترى	٥,٢٠٣	٣١٨,٣٥	١,٣٥
زحل	٩,٥٣٩	٩٥,٣	٠,٧١
أورانوس	١٩,١٩٠	١٤,٥٨	١,٥٦
نبتون	٣٠,٠٧١	١٧,٢٦	٢,٤٧

وأهم ما يميـز مجموعة الكواكب السيارة الخارجية الكبرى عن الداخلية هو كثافتها القليلة جدا على الرغم من أن كتلتها كبيرة . فعلى الرغم من أن كتلة المشترى تبلغ نحو ٣١٨ مثلا لكتلة الأرض فإن كثافته تمثل نحو ١,٣ فقط ، وكتلة زحل نحو ٩٥ مثلا لكتلة الأرض إلا أن كثافته نحو ٠,٧ من كثافة الأرض .

ويرجح الفلكيون من أمثال هويل بأن هذه الكواكب السيارة الكبرى تحتوى على نسب معتدلة من أخف العناصر وزنا ومن بينها الأيدروجين ، فتصل نسبة هذا الغاز الأخير إلى نحو ٤٠٪ فى زحل ، ونحو ٢٠٪ فى المشترى وإلى أقل من ذلك فى كل من أورانوس ونبتون .

ومن نتائج هذه الدراسات الفلكية للمجموعة الشمسية يمكن أن نلخص الآتى :

(١) اختلاف المسافة بين كل من الكواكب السيارة والشمس :

تقع الكواكب السيارة السابقة الذكر فى مواقع مختلفة وتبعد عن الشمس بمسافات هائلة الإمتداد . وتعد كواكب عطارد ، والزهرة ، والأرض ، والمريخ من الكواكب القريبة نسبياً من الشمس إذ يبعد عطارد عنها بنحو ٣٦ مليون ميل ، والزهرة بنحو ٦٧ مليون ميل ، والأرض بنحو ٩٣ مليون ميل ، والمريخ بنحو ١٤٢ مليون ميل . ومن بين الكواكب البعيدة عن الشمس ، نبتون ، وبلوتو ، إذ يبعد الأول عن الشمس بنحو ٢٧٩٧ مليون ميل ، فى حين يبعد الكوكب الثانى عن الشمس بنحو ٣٦٧٠ مليون ميل .

وإذا إتخذنا المسافة التى تقع بين مركزى الأرض والشمس والتى تبلغ نحو ٩٣ مليون ميل وإعتبرناها وحدة قياس للمسافة Astronomical Unit أى تساوى ١ فإننا سنجد أن الكواكب تبتعد عن الشمس بالوحدات الآتية : عطارد ٠,٣٩ وحدة - الزهرة ٠,٧٢ وحدة - زحل ٩,٥٤ وحدة - أورانوس ١٩,١٩ وحدة - نبتون ٣٠,٠٧ وحدة - بلوتو ٤٩,٤٦ وحدة .

(٢) خصائص دوران كل كوكب حول مداره ، وحول الشمس :

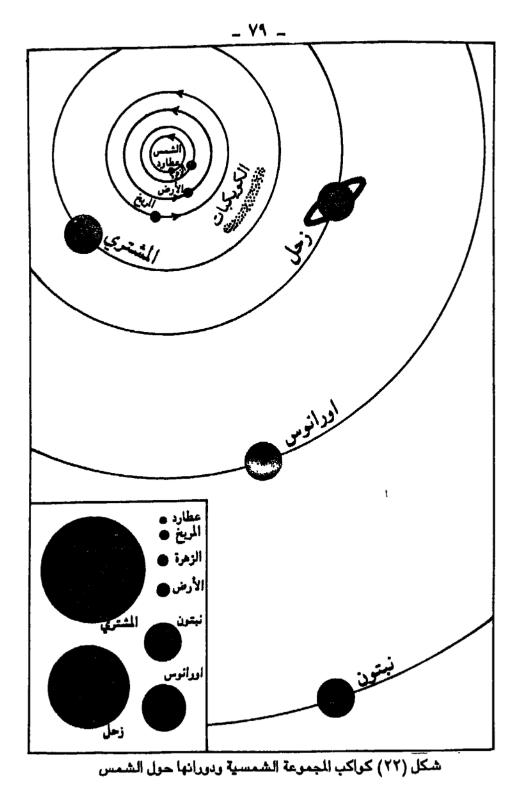
يرجع الفضل إلى العالم الفلكى كبلر (١٥٧١ - ١٦٣٠) فى إيضاح معلوماتنا عن دوران كل من كواكب المجموعة الشمسية حول محورها من ناحية وحول جسم الشمس من ناحية أخرى . وقد أكد هذا الباحث بأن لكل من هذه الكوكب مداره الخاص حول الشمس ، وأغلب هذه المدارت بيضاوية أو أهليلجية الشكل ، وليست دائرية الشكل تماماً كما إعتقد بذلك كوبرنيكوس من قبل . وقد أكد كبلر حقيقتين هما :-

أ- أن جميع كواكب المجموعة الشمسية تدور حول الشمس فى مدارات ثابتة ولكن بسرعة تختلف من كوكب إلى آخر .

ب- تشابه زاوية ميل المحور الخاص ببعض هذه الكواكب ، ويقصد بذلك زاوية ميل كل كوكب عن وضعه العمودى . فزاوية ميل محور الأرض ٢٣,٥° والمريخ ٢٥,٢° والمشترى ٢٦,١° .

ويلاحظ أن الكواكب التى تقع قريبة من الشمس تتم دورة كاملة حول الشمس فى مدة زمنية أقصر نسبيا من تلك التى تقع بعيدة عن الشمس فعطارد يتم دورة كاملة واحدة خول الشمس فى مدة ٨٨ يوما ، والزهرة فى ٢٢٥ يوما ، والأرض فى مدة سنة ، فى حين يتم أورانوس دورة واحدة حول الشمس فى مدة تبلغ نحو ٢٤٧ سنة . ولا يؤثر فى طول المدة الزمنية التى يستغرقها كل كوكب فى مداره ودورانه دورة كاملة حول الشمس مدى المسافة الفاصلة بينه وبين الشمس فقط ، بل كذلك مدى سرعة كل كوكب فى المدار الذى يتبعه فيسبح عطارد فى مداره بسرعة تبلغ نحو ٣٠ ميلا فى الثانية ، والأرض بنحو ١٨,٥ ميلا فى الثانية ، والمشترى بنحو ٨ أميال فى الثانية ، وأورانوس بنحو ٤ أميال فى الثانية (شكل ٢٢) ويوضح الجدول الآتى البعد بين كل من كواكب المجموعة الشمسية عن الشمس ، وطول الفترة الزمنية التى يستغرقها كل كوكب عند دورانه دورة واحدة كاملة حول الشمس ،ومتوسط سرعة دوران كل نجم فى فى مداره بالأميال فى الثانية (١) .

(1) Smart, M., "The origin of the Earth" A. Pelican Book London1959. p.28.



شكل (٢٢) كواكب المجموعة الشمسية ودورانها حول الشمس

لاحظ اختلاف البعد بين كل منها وبين الشمس وكذلك اختلاف حجم كل منها

الكوكب	البعد عن الشمس		طول فترة الدورة الواحدة كل كوكب (ميل/ثانية)	متوسط سرعة دوران كل كوكب (ميل /ثانية)	المحيط الخارجى لكل كوكب
	على أساس البعد بين الشمس والأرض يسارى	ملايين الأميال			
عطارد	٠,٣٨٧	٣٦	٨٨ يوم	٣٠	لا يوجد
الزهرة	٠,٧٢٣	٦٧	٢٢٥ يوم	٢٢	سحب كثيفة وثانى اكسيد الكربون
الأرض	١,٠٠٠	٩٣	سنة	١٨,٥	غلاف غازى مكون من الأكسجين والنتروجين
المريخ	١,٥٢٤	١٤٢	١,٨٨ سنة	١٥	نادر
المشترى	٥,٢٠٣	٤٨٤	١١,٨٦ سنة	٨	سحب كثيفة وغازات متوهجة
زحل	٩,٥٣٩	٨٨٧	٢٩,٤٦ سنة	٦,٥	غازات الأيدروجين والهليوم والميثان
أورانوس	١٩,١٩٠	١٧٨٥	٨٢,٠٢ سنة	٤	سحب كثيفة
نبتون	٣٠,٠٧٠	٢٧٩٧	١٦٤,٨٠	٣,٥	سحب كثيفة
بلوتو	٣٩,٤٦٠	٣٦٧٠	٢٤٧,٧٠	٣	لا يوجد

(٣) إختلاف حجم الكواكب :

تختلف كواكب المجموعة الشمسية فيما بينها من حيث الحجم . وتتميز الكواكب القريبة نسبياً من الشمس (عطارد والزهرة والأرض و المريخ) بكونها صغيرة الحجم . ويعد كوكب الأرض اكبر هذه المجموعة حجماً ، ومع ذلك لا يزيد المتوسط العام لقطر الأرض عن ٧٩٢٧ ميل أى ما يعادل ٣٠٠٠٠/١ من قطر الشمس (١) . ويبلغ قطر عطارد نحو ٣٠٠٠ ميل . أما مجموعة الكواكب البعيدة نسبياً عن الشمس (المشترى و زحل و أورانوس و بلوتو) فتتميز بكبر حجمها حيث يبلغ قطر أورانوس ٣١,٠٠٠ ميل والمشترى نحو ٩٠,٠٠٠ . وإذا اتخذنا قطر الأرض واعتبرناه وحدة قياس أى يساوى ١ لتبين أن قطر عطارد يبلغ نحو ٠.٣٨ وحدة ، والزهرة ٠,٩٧ وحدة ، والمريخ ٠,٥٠ وحدة والمشترى ١١,٠ وحدة ، وزحل ٩,٥٠ وحدة ، وأورانوس ٤,٠٠ وحدات ، ونبتون نحو ٣,٨٠ وحدة ويوضح شكل (٢٢) الأشكال المختلفة لكواكب المريخ والمشترى وزحل ، كما يراها الفلكيون فى الفضاء الخارجى بواسطة أجهزة الرصد الفلكية .

(٤) اختلاف كتلة الكواكب :

تتنوع كتلة الكواكب تبعاً لإختلاف حجم كل منها ، ومن ثم تعد الشمس أكبر الكواكب كتلة . ولو أتخذنا كتلة الأرض كوحدة للقياس لأصبح كتلة القمر التابع لها نحو $\frac{١}{٨١}$ من كتلة الأرض فى حين تزيد كتلة الشمس عن ٣٣٤,٤٠٠ مثلاً لكتلة الأرض . ويلاحظ أن الكواكب التى تقع قريبة من الشمس والصغيرة الحجم تتميز كذلك بصغر كتلتها فتبلغ كتلة عطارد $\frac{١}{٢٧}$ والزهرة $\frac{٥}{٦}$ والمريخ $\frac{١}{٩}$ من كتلة الأرض . أما مجموعة الكوكب التى تقع بعيدة نسبياً عن الشمس والكبية الحجم تتميز بكبر كتلتها بالنسبة لكتلة الأض . فتبلغ كتلة زحل نحو ٩٥ والمشترى نحو ٣١٨ مثل لكتلة الأرض .

---

(1) Holmes , G. d., " College Geology " , N Y ., 1962. p. 15.

(٥) اختلاف كثافة الكواكب :

أكدت الدرسات الفلكية انه لو إتخذنا الكثافة العامة للمياه كوحدة للقياس المقارن لتحديد كثافة كتل كواكب المجموعة الشمسية لإتضح أن كثافة الكوكب التى تقع بعيدة عن الشمس والصغيرة الحجم أكبر بكثير من كثافة تلك الكواكب التى تقع بعيدة عن الشمس والكبيرة الحجم . وعلى سبيل المثال يتضح أن الكثافة العامة للأرض تبلغ ٥,٥٢ والزهرة ٥,٢١ ، والقمر ٣,٣٤ ، فى حين تبلغ الكثافة العامة لكوكب المشترى نحو ١,٣٣ ، وزحل ٠,٦٩ وأورانوس ١,٣٦ ، وبلوتو ١,٣٢ ومعنى ذلك أن هذه الكواكب الأخيرة تتألف من غازات ومواد خفيفة الوزن قليلة الكثافة .

الأقمار التابعة لبعض كواكب المجموعة الشمسية :

لم يعرف الفلكيون أن لبعض كواكب المجموعة الشمسية أقماراً تابعة لها وتدور حولها فى فلكها إلا بعد أن اكتشف Moons or Satellites جاليليو منظاره الفلكى فى عام ١٦١٠م ، وشاهد لأول مرة الأقمار الأربعة الرئيسية التابعة لكوكب المشترى . وبعد تطور صناعة أجهزة الرصد الفلكية تحقق العلماء من حقيقة الأقمار التابعة لبعض كواكب

الكوكب	قطر كل كوكب (ميل)	طول الفترة الزمنية لدوران كل كوكب دورة واحدة نفسه	عدد الأقمار التابعة لكل كوكب	كتلة كل كوكب بالنسبة لكتلة الأرض	كثافة كل كوكب بالنسبة لكثافة المياه
الشمس	٨٦٥,٠٠٠		-	٣٣٣,٤٠٠	١,٤١
القمر	٢,١٦٠	١٢ ساعة ، ٢٦ دقيقة	-	٨١/١	٣,٣٤
عطارد	٣,٠٠٠		-	٢٧/٠	٣,٧٣
الزهرة	٧,٦٠٠		-	٦/٥	٥,٢١
الأرض	٧,٩١٠	٢٣ ساعة ، ٥٦ دقيقة	١	١	٥,٥٢
المريخ	٤,٢٠٠	٢٤ ساعة ، ٣٧ دقيقة	٢	٩/١	٣,٩٤
المشترى	٨٦,٠٠٠	٩ ساعات ، ٥٠ دقيقة	١٢	٣١٨	١,٣٤
زحل	٧٠,٠٠٠	١٠ ساعات ، ١٤ دقيقة	٩	٩٥	٠,٦٩
أورانوس	٣٠,٩٠٠	١٠ ساعات ، ٤٨ دقيقة	٥	١٤ ٣/٥	١,٣٦
نبتون	٣٣,٠٠٠	١٥ ساعة ، ٤٠ دقيقة	٢	١٧ ١/٣	١,٣٢
بلوتو	(غير معروف)		-	-	-

المجموعة الشمسية ، بل وشاهدوا ١٢ قمرا تتبع كوكب المشترى ، وتسعة أقمار تابعة لكوكب زحل . وقد تبين أن لكوكب الأرض قمراً واحداً يعرف باسم « القمر » ، ويبعد عن الأرض بنحو ٢٤٠,٠٠ ميل ويدور فى مدار برتقالى الشكل حول الأرض فى مدة تستغرق نحو ٢٧,٣ يوم . ويبلغ قطر القمر نحو ٢,١٦٠ ميل .

الكوكب الرئيسى	الأقمار التابعة	قطر كل قمر (ميل)	متوسط البعد بين كل قمر والكوكب الرئيسى الذى يتبعه (ميل)	طول الفترة الزمنية التى يستغرقها كل قمر لدورانه واحدة حول الكوكب الرئيسى
الأرض	القمر	٢،١٦٠	٢٤٠،٠٠٠	٢٧ يوما ، ٨ ساعات
المريخ	فوبوس	٤٠	٥،٨٠٠	٧ ساعات ، ٣٩ دقيقة
	ديموس	١٠	١٤،٦٠٠	٣٠ ساعة ، ١٨ دقيقة
المشترى	أيو ١	٢،١١٠	٢٦٢٩،٠٠٠	١ يوم ، ١٨ ساعة
	أوروبا ٢	١،٨٦٥	٤٢١،٠٠٠	٣ أيام ، ١٣ ساعة
	جانيميد ٣	٣،٢٧٣	٦٦٥،٠٠٠	٣ أيام ، ٤ ساعة
	جاليستو ٤	٣،١٤٢	١،١٧٠،٠٠٠	١٦ أيام ، ١٧ ساعة
	جاليستو ٥و٦و٧و٨و٩و١٠و١١و١٢	من ١٢ ـ ١٠٠	من ٧،٠٠٠،٧٠٠ إلى ١٤،٠٠٠،٠٠٠	من ٢٥٠ يوما إلى ٦٣١ يوما
زحل	ميماس	٣٧٠	١١٥،٠٠٠	٢٢ ساعة ، ٣٧ دقيقة
	انسيلادوس	٤٦٠	١٤٧،٠٠٠	١ يوم ، ٩ ساعات
	تيتس	٧٥٠	١٨٢،٠٠٠	١ يوم ، ٢١ ساعة
	ديون	٩٠٠	٢٣٣،٠٠٠	٢ يوم ، ١٨ ساعة
	رهيا	١،١٥٠	٣٢٦،٠٠٠	٤ أيام ، ١٢ ساعة
	تيتان	٣،٣٥٠	٧٥٥،٠٠٠	١٥ يوما ، ١٢ ساعة
	هيبريون	–	٩١٤،٠٠٠	٢١ يوما ، ٧ ساعات
	أيبتوس	–	٢،٢٠٠،٠٠٠	٧٩ يوما
	فيوب	–	٨،٠٠٣،٠٠٠	٥٥٠ يوما
	أريل	–	١١٨،٥٠٠	٢ يوم ، ١٢ ساعة
أورانوس	أمبريل	–	١٦٥،٠٠٠	٤ أيام ، ٣ ساعات
	تيتانيا	–	٢٧١،٠٠٠	٧ أيام ، ١٧ ساعات
	أبرون	–	٣٦٢،٠٠٠	١٣ يوما ، ١١ ساعة
	ميرانده	–	٧٦،٥٠٠	٣١ ساعة
	تريتون	–	٢١٨،٠٠٠	٥ أيام ، ٢١ ساعة
نبتون	نريد	–	–	–

وتقدر كتلته بالنسبة لكتلة الأرض $\frac{١}{١٨}$ فى حين تبلغ كثافة المواد التى يتألف منها بالنسبة لكثافة المياه نحو ٣,٣٤ .

ويختلف القمر عن كوكب الأرض فى أنه غير محاط بغلاف غازى مثل ذلك الذى يحيط بالأرض والذى ساعد على ظهور المظاهر الحيوية فوق سطح الكوكب . ويوضح الجدول السابق بيان بالأقمار التابعة لبعض كواكب المجموعة الشمسية ، وقطر كل منها ، ومتوسط طول المسافة بينها وبين الكوكب الرئيسى الذى تتبعه ، وطول الفترة الزمنية التى يستغرقها كل قمر عند دورانه دورة واحدة كاملة حول الكوكب الرئيسى الذى يتبعه (١) .

وعلى ذلك يتمثل بالمجموعة الشمسية حسب معلوماتنا اليوم تسعة كواكب سيارة رئيسة ويتبعها ٣١ قمرا بغض النظر عن مجموعة الكويكبات التى تقع فيما بين المريخ والمشترى ، والهالة العظمى التى تحيط بكوكب زحل . وقد أكد الأستاذ سمارت W.M. Smart فى عام ١٩٥٩م بأن الحلقة الدائرية حول كوكب زحل تتألف من توابع قمرية صغيرة الحجم جدا ، (حيث يقل قطر كل منها عن ٦٠ ميلا) ، ومن الصعب أن يحصى عددها ، ومن ثم فهى أشبه بهالة مستديرة الشكل من الغبار الجوى . ورجح بأن مثل هذه التوابع القمرية الصغيرة تنشأ نتيجة لتفتيت الأقمار أو الكواكب الأكبر حجما . وفى ٢ يناير عام ١٩٥٩م أطلق العلماء الروس صاروخا إلى الفضاء الكونى استطاع أن يخرج من مجال جاذبية الأرض ليتخذ له مداراً هو الآخر حول الشمس ، ومن ثم أصبح أول تابع صناعى للمجموعة الشمسية .

(١) أ ـ د. حسن أبو العينين «سطح هذا الكوكب» بيروت (١٩٦٧).

(٢) ب ـ د. حسن أبو العينين «كوكب الأرض» الطبعة العاشرة الأسكندرية ـ مؤسسة الثقافة الجامعية (١٩٨٨) .

جـ – د.حسن أبو العينين «من الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم» – الجزء الأول مع آيات الله فى السماء – مطبعة العبيكان – السعودية (١٩٩٦) .

د.حسن أبو العينين «من الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم» – الجزء الثانى مع آيات الله فى الأرض – مطبعة العبيكان – السعودية (١٩٩٦) .

الشهب والنيازك والمذنبات

تسبح فى الفضاء السماوى للمجموعة الشمسية أجسام كونية أخرى لا تنتمى مداراتها إلى المدارات الإهليلجية المنتظمة لكواكب المجموعة الشمسية حول الشمس ، بل هى تجرى فى مدارات غير منتظمة وتندفع بسرعة شديدة جداً كالقذائف النارية فى اتجاهات مختلفة ويطلق عليها اسم الشهب Meteors والنيازك Meteorites والمذنبات Comets . وتتمثل هذه الأجسام الكونية الغريبة فى السماء الدنيا القريبة من كوكب الأرض ، وينتج عن احتراقها وتفتتها لهب شديد . وقد أسهم الغلاف الغازى وحزام «فان إلن» الذى يحيط بكوكب الأرض على حفظ الأرض وسلامتها من الأضرار التى قد تنتج عن تساقط بقايا الشهب والنيازك ومفتتاتها المحرقة على سطح الأرض . وإذا تصادف سقوط قطعة صخرية صغيرة الحجم من النيازك على سطح الأرض فإنها تتسبب فى تكوين أحواض عميقة واسعة ، وتصهر مفتتات الشهب والنيازك النارية المحرقة صخور قشرة الأرض بدرجة أقوى من تأثير القنابل المتفجرة النووية التى يعرفها البشر .

الشهب Meteors : تعتبر الشهب من الناحية العلمية كرات ثلجية Snow balls تتألف من الغازات المنغمسة مع الأتربة الكونية ، ويتراوح قطر الكرة الواحدة منها من عدة مئات من الأمتار إلى عدة عشرات من الكيلومترات . وتسبح الشهب فى مدارات غير منتظمة الاتجاه وأغلبها طولية الشكل وعندما تقترب الشهب من الشمس تتبخر كميات كبيرة من موادها بفعل احتراقها ، ويشتد لمعانها فى الفضاء السماوى ، وقد لا يتبقى من أجسامها بعد احتراقها سوى قلبها المركزى (١) .

ويختلف حجم الشهب بنسبة كنسبة حجم حبة الرمل إلى حجم حبة الحصى أو الزلط ، إلا أنها تتميز جميعا بشبرة درجة توهجها سرعة سقوطها صوب سطح كوكب الأرض (تتراوح السرعة من ٢٠ إلى ٤٠ ميل فى الدقيقة) ، وينجم عن احتكاك أجسام الشهب الملتهبة بالغلاف الجوى

---

(١) حسن أبو العينين « المرجع السابق » (١٩٨٨) ص ٤٧ ـ ٥٣ .

تحويل كل المواد المختلفة التى تلتصق بها أو تصطدم معها إلى أبخرة وغازات . وتسبح الشهب فى الفضاء الكونى كذلك بسرعة هائلة إلا انها تختلف فيما بينها من حيث اتجاه مسالكها .

وقد اختلف العلماء حول تفسير نشأة الشهب وتحديد أصلها ، فيذكر بعض العلماء أن الشهب تمثل بقايا صغيرة متناثرة من المجموعة الشمسية التى نعرفها اليوم ، ثم تعرضت لعمليات الانقسام والتفتيت ، وأخذت تتساقط ووصل بعض بقاياها إلى سطح الأرض . ويرى بعض آخر أن الشهب قد تمثل بقايا مواد كونية مفتتة آتية من فضاء خارجى آخر غير ذلك الذى نعرفه وتقع فيه عائلة المجموعة الشمسية . وقد شاهد الفلكيون فعلا بعض الشهب ، وقد احتلت لها مدارات مختلفة حول الشمس ، ومنها الشهب المعروفة باسم ليونيد Leonids والتى شاهدها العلماء فى عام ١٨٦٦ م وهى تدور حول الشمس ، وتستغرق الدورة الواحدة لها حول الشمس نحو ٣٣,٢٠ سنة . وتكررت تلك الملاحظات الفلكية من جديد ، حيث شاهد الفلكيون بعض الشهب وتدور حول الشمس فى عام ١٨٩٩م ، وفى عام ١٩٣٢ م .

النيازك : Meteorites

تشبه النيازك الشهب فى أنها أجسام كونية آتية من الفضاء السماوى الخارجى Outer Space ، وقد تتساقط بقاياها فوق سطح كوكب الأرض ، إلا أن النيازك تندفع بسرعة هائلة فى الفضاء السماوى وتندفع منها ألسنة نارية ملتهبة حارقة،ويطلق العلماء عليها اسم النجوم النارية Shooting Stars .

والنيازك تعد أكبر حجماً نسبيا من الشهب ، وعلى ذلك لا تحترق مواد النيازك كلية أثناء عبورها طبقات الغلاف الجوى ، بل قد تصل بعض أجزاء من موادها إلى سطح الأرض . ويختلف وزن بقايا النيازك التى تصل إلى سطح الأرض من بضعة أرطال إلى بعضة أطنان ، وكان من أكبر النيازك حجما تلك التى عثر عليها فوق جزيرة جرينلند وكان يبلغ وزنها

نحو ٢٦ طنا ، وقد حفظت بقايا تلك النيازك فى متحف التاريخ الطبيعى الأمريكى بنيويورك . كما عثر على بقايا نيازك أخر بالقرب من جروتفنتين Grootfontiein بجنوب غرب أفريقيا وكان وزنها نحو ٦٠ طنا . كما عثر على بقايا لأجسام النيازك الحديدية بالقرب من مدينة هنبرى Henbury باستراليا .

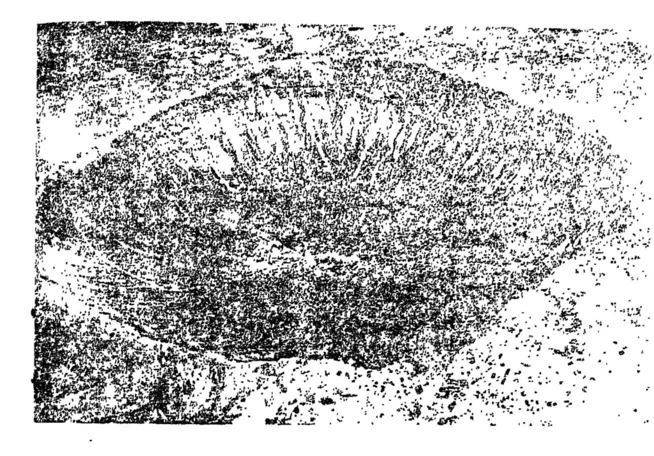
وعلى الرغم من ندرة مواد النيازك وبقاياها التى يعثر عليها فوق سطح الأرض ، فقد استطاع الجيولوجيون معرفة التركيب المعدنى العام لبقايا النيازك ، وأوضحت الدراسات الجيولوجية بأن مادة النيازك تختلف لعملية برودتها فوق سطح الأرض ، وما انتابها من تغيرات أثناء عمليات سقوطها نحو سطح الأرض . فقد تتركب بعض مواد النيازك من معادن ثقيلة أهمها الحديد والنيكل ، وتعرف هذه المجموعة من النيازك باسم Holosiderites وتتميز معادن النيازك هنا بكونها هائلة التبلور مما يدل على أنها تكونت ببطء تحت تأثير عمليات برودة تدريجية . فى حين يتألف بعضها الآخر من معادن متداخلة مختلفة تعرف باسم Syssiderites and SporadoSiderite وهناك مجموعة أخرى من النيازك تتركب من معادن وصخور تعرف باسم Asiderites ويلاحظ أن النيازك الصخرية هى الأكثر شيوعاً ، وقد يكون سبب نشأتها انفجار كويكب تشبه مواده تلك يتألف منها كوكب الأرض . وتتألف النيازك الصخرية من معادن ثقيلة جداً ويبلغ عمر بعض قطع النيازك الصخرية نحو ٤,٦ بليون سنة .

وقد تعرضت الأراضى المصرية مثلها مثل بقية معظم أجزاء سطح الأرض لتساقط مفتتات النيازك ، فقد عثر الجيولوجيون على ما يعرف الآن باسم نيزك اسنا على بعد ١٠٠ كم جنوب غرب اسنا ، ويعد هذا النيزك من أكبر النيازك التى سقطت فوق الأراضى المصرية حيث كان وزنه ٢٣ كيلو جراما ، وأن كان حجمه الأصلى ربما كان يزيد على عدة آلاف المثل حجمه الحالى وذلك قبل دخوله منطقة الغلاف الغازى للأرض . وقد أعاد هذا النيزك الى الأذهان نيزك النخلة (مركز أبو حمص) ونيزك دنشال (قرية بين دمنهور وكفر الزيات) اللذان سقطا فى عام ١٩١١ .

وقد رجح الجيولوجيون بأن النيزك الذى سقط فوق منطقة اسنا يعد حديث العمر وذلك تبعا لآثار الحريق الممثلة فى جدران الحفرة التى كان مدفونا فيها . وقد أوضح التحليل الكيميائى لمفتتات النيازك فى مصر بأنها تتكون أساسا من الحديد والنيكل وبعض المعادن الثقيلة مثل تلك التى تتمثل فى باطن الأرض .

ولكن حتى الوقت الحاضر لم يستطع العلماء تفسير كيفية تكوين « طابع » Imprint النيازك والحفر الهائلة التى تكونها فوق سطح الأرض . فقد استطاعت بقايا النيازك الصغيرة الحجم التى سقطت فوق سيبيريا وتلك التى سقطت فوق أريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية أن تكونا حفرا هائلة العمق (متوسط عمقها نحو ١٠٠ متر) ويزيد قطرها على ٨٠٠ متر . ويرجح البعض أن مثل هذه الحفر العميقة فى سطح الأرض تشبه فوهات سطح القمر المضرس ، ومن ثم فإنها قد تعزى إلى شدة سرعة بقايا النيازك عند اصطدامها بسطح الأرض وإلى شدة سخونتها عند سقوطها . ومن ثم لا بد من إجراء المزيد من الأبحاث حتى يمكن أن ندرك العوامل التى ساعدت على تكوين هذه الحفر بفعل تلك الأجسام الكونية الصغيرة (شكل ٢٣) .

ومن المواد الكونية الأخرى التى وجدت بقاياها على سطح الأرض ويرجح العلماء أنها لا تنتمى إلى المجموعة الشمسية ، تلك المعروفة باسم التكتيت Tektites وتشبه هذه المواد الكونية إلى حد كبير الزجاج النارى الطبيعى (أوبسيديان Obsidian) ، ويعتبرها بعض الباحثين من إحدى مجموعات النيازك . وتتنوع أشكال هذه المواد ، حيث يظهر بعضها بيضاوى الشكل والبعض الآخر كروياً أو غير منتظم الشكل . كما يختلف حجم بقاياها من حجم البيضة إلى حجم كرة القدم . وقد عثر على بقايا هذه المواد فى مواقع متفرقة من استراليا والفلبين وجنوب شرق آسيا . وقد اكتشف الأستاذ كلايتون بقايا للزجاج الطبيعى الكونى فى أجزاء متفرقة من صحراء مصر الغربية .



(شكل ٢٣) فوهة حوضية نتجت عن تساقط بقايا النيازك فوق صحراء أريزونا غرب الولايات المتحدة الأمريكية منذ أكثر من ٢٠ ألف سنة مضت .

المذنبات : Comets

تشاهد المذنبات بواسطة أجهزة الرصد الفلكية المقربة من فوق سطح الأرض على شكل بقع سديمية مضيئة ، وتشتد درجة توهجها فى منطقة رؤوسها ، كما يمتد من أجسامها ألسنة أو ذيول مثيرة فى الفضاء . وتدور المذنبات حول الشمس فى مدارات مختلفة وبسرعة هائلة إلا أنها تتفاوت من مجموعة إلى أخرى . فيدور بعض المذنبات فى مدارات بيضاوية الشكل ، فى حين يدور بعضها الآخر فى مدارات شبه مستطيلة وأخرى فى مدارات شبه بيضاوية الشكل . ومن أجمل المذنبات تلك التى شوهدت

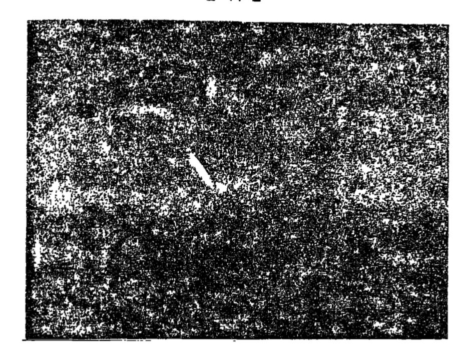
موهجة فى الفضاء الكونى فى عام ١٩٠٨م وعرفت باسم مذنبات مورهاوس Morehouse's Comet. وقد أوضحت المشاهدات الفلكية أن المسافة الفاصلة بين هذا المذنب والشمس تختلف من فترة إلى أخرى تبعا لموقف المذنب فى مداره البيضاوى الشكل . ففى بعض الأحيان يظهر المذنب على بعد نحو ١٤ مليون ميلا فقط عن الشمس (كما حدث عام ١٩١٠م) فى حين يبلغ بعد أقصى موقع للمذنب مورهاوس عن الشمس نحو ٣٠٠٠ مليون ميل .

وقد لاحظ علماء الفلك بأن بعض المذنبات مثل مجموعة مذنبات هالى Halley's Comet تستغرق دورتها الواحدة حول الشمس نحو ٧٦ سنة فى حين تستغرق مجموعة مذنبات « انك » Encke's Comet خلال دورتها الواحدة نحو ٣,٢٠ سنة .

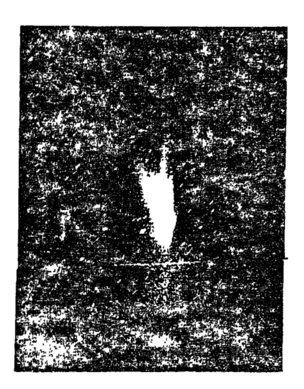
وتتألف رأس المذنب عادة من أجسام كونية مختلفة الحجم ، ومن ثم تشبه صخور المجمعات (حصى وزلط ورمال) من حيث الشكل العام ، إلا أن هذه الأجسام الكونية تتألف من غازات أهمها أول أكسيد الكربون والكيانوجين Cyanogen . وعندما تقترب المذنبات من جسم الشمس وتتعرض لأشعتها الحرارية العالية سرعان ما يلتهب جسم المذنب ، وينبثق منه ذيول ملتهبة تنير الفضاء الكونى . (شكل ٢٤ ، وشكل ٢٥) .

وقد ذكر بعض الفلكيين أن مجموعات المذنبات قد تنتمى إلى فضاء خارجى غير ذلك الذى تتمثل فيه المجموعة الشمسية المعروفة ، ذلك لأن طبيعة دوران المذنبات تختلف تماما عن طبيعة دوران أفراد المجموعة الشمسية . ومن ثم أكد بعضهم أن قوة الجاذبية الشمسية تعمل على جذب أجسام المذنبات الآتية بدورها من فضاءات كونية خارجية أخرى بعيدة نحو الشمس . وعندما تقترب المذنبات من جسم الشمس الملتهب وتتأثر بأشعتها الحرارية العالية يعاد تشكيل موادها ويرتفع درجة حرارتها وتشتد إنارتها وتوهجها .

ومنذ يوم ٢٨ ديسمبر ١٩٧٣ بدأ يقترب المذنب « كوهوتيك » من جسم الشمس . وفى يوم ١٠ يناير ١٩٧٤م أصبح هذا المذنب الذى كان



شكل (٢٤)مذنب بنيت Bennett كما صور في عام ١٩٧٠



شكل (٢٥) مذنب ويست في عام ١٩٧٦

معروفا بألمع مذنب فى عصرنا الحديث ، على بعد ٢١ مليون كم فقط من الشمس وهكذا دخل المذنب الحقول الكهرومغناطيسية الشمسية . وبدلا من أن يخرج المذنب عن جاذبية الشمس ويستدير ليبعد عنها ، تأثر جسم المذنب بجاذبية الشمس الرهيبة وتشتت أجزاؤه وخرج عن نطاق الجاذبية الشمسية بعد أن فقد المذنب كوهوتيك من مادته ما بلغ مقداره نحو ٢٠ مرة مما كان متوقعا له ، وتشتت ذيله المضيء ، وذهبت إلى العدم كمية من لمعانه تصل إلى ٢٠٠ مرة مما كان مقدراً له . وهكذا انتهت قصة ألمع وأبهر مذنب فى الفضاء فى عصرنا الحديث بانهياره وأصبح من الآن يمثل مذنبا عاديا من بين ملايين المذنبات التى تدور حول الشمس .

ومن بين أشهر المذنبات التى تحوم حول الشمس فى الوقت الحاضر مذنبات وست West وارند - رولاند Ikeya - Seki وهوماسون Arend-Roland وفى الفضاء السماوى للمجموعة الشمسية تندفع بعض المذنبات بسرعة هائلة تزيد على ٦٠ كم/ث فى مسارات غير منتظمة . وقد تنجذب بعض هذه المذنبات صوب نجم الشمس وتغوص وتختفى فيها تماماً أو ترتطم بالكواكب الكبيرة الحجم فى المجموعة الشمسية وخاصة كوكب المشترى تبعا لارتفاع نسبة كتلته وقوة جاذبيته . ومنذ نحو عشرين عاماً رصد علماء الفلك مراحل دخول واحد من هذه المذنبات نطاق جاذبية كوكب المشترى وكان يبلغ طول ذيله الثعبانى أو الدودى الشكل أكثر من ٣٠ مليون كم . وفى يوم ٨ يوليو ١٩٩٢ شاهد العلماء أجزاء من ذيل هذا المذنب وهى تندفع نحو سطح المشترى و على بعد لا يزيد عن ٢١ ألف كم منه .

ومنذ بداية عام ١٩٩٤ قام كل من يوجين شوميكر وزوجته كارولين وعالم فلكى زميل لهم هو دافيد ليفى بدراسة الحركات التفصيلية لمسارات واندفاعات هذا المذنب الذى اطلقوا عليه اسم « مذنب شوميكر - ليفى ٩) أو « دودة السماء » Sky Warm وقد توقع هؤلاء العلماء أصطدام هذا

المذنب بسطح كوكب المشترى المظاهر لكوكب الأرض فى يوم ١٧ يوليو ١٩٩٤ . ولم تستطع مراصد هابل الفلكية وشفينتا الفضاء جاليليو (المتجهة صوب المشترى منذ عام ١٩٨٩) وفويجرVoyager من أن ترصد ساعة الأرتطام نفسها ، غير أنها سجلت صدى الارتطام الرهيب بين أجزاء هذا المذنب (الذى كان يتركب من ٢١ جسماً فضائياً) وكوكب المشترى .

وقد أكدت المشاهدات الفلكية بأنه نتج عن هذا الأرتطام وتساقط الشظايا النارية فوق سطح كوكب المشترى حدوث انفجارات بلغت قوتها التدميرية ما يعادل ٤٠ مليار طن من المواد المتفجرة ، وهذ قوة تفوق مقدار انفجار جميع الأسلحة النووية الموجودة حاليا فى كل ترسانات العالم . وقد تسبب الأصطدام فى تكوين فقاعات هائلة من الغازات الساخنة (وبخاصة غاز الميثان) تزيد درجة لمعانها ٥٠ مثلا لدرجة لمعان ونورانية المشترى نفسه . كما تلوثت السحب الغازية التى تحيط بالنصف الجنوبى من كوكب المشترى ببقع غازية ساخنة سوداء هائلة الحجم ، وأعلن العالم يوجين شوميكر - مكتشف هذا المذنب - أنه لو قدر لمثل هذا الانفجار أن يرتطم بالأرض لأصابها بهالة من الغبار الفضائى بحيث يحجب عنها الشمس تماماً ، وأوضح كذلك بأن قوة اصطدام مذنب شوميكر - ليفى بسطح كوكب المشترى تقل عن قوى انفجار المذنب الذى يعتقد العلماء أنه سبق أن ضرب سطح الكرة الأرضية فى الزمن الجيولوجى الثانى ، ونتج عنه إنقراض كل الديناصورات التى كانت تعيش على سطح الأرض إبان هذا الزمن الجيولوجى .

تمدد الكون : Expansion of the Universe

يتبين مما سبق أن المجرات والنجوم فى الفضاء لا يصدر عنها صوت ، بل ينبعث منها ضوء يشع فى الفضاء السماوى بسرعة ٣٠٠,٠٠٠ كم/ث . وباستخدام المطياف الضوئى (سبكتروسكوب) تبين للعلماء أن امتداد ضوء النجوم يظهر مائلا إلى الطرف الأحمر فى الطيف الضوئى .

واستنتج العلماء أن هذه النجوم أخذة فى الابتعاد عن الأرض ، وأن بعضها يبتعد عن البعض الآخر كذلك ، أى أن الكون كله آخذ فى التمدد والاتساع وكأنه بالونة تنتفخ انتفاخاً (١) .

وعلى أساس مفاهيم النظرية النسبية ، فإن قوة « التنافر الكونى » تؤدى إلى التشتت الذى ينتج عنه تباعد كل جرم عن أى جرم أخر . ويؤكد علماء الفلك بأن المجرات (غير مجرة درب التبانة) تسبح فى الفضاء متباعدة عن مجرتنا ، وأنه كلما زاد بعدها عنا ازدادت سرعتها . ويلاحظ أن هذا التمدد لا يتجه بعيداً عن مركز الكون بذاته ، ولكن يسبب تشتتاً عاماً يصل إلى ضعف مقدار بعدها الحالى فى مدى ١٣٠٠ مليون سنة (٢) .

ومن دراسة انحراف الأشعة الحمراء فى المطياف الضوئى المنبعث من المجرات البعيدة جداً فى الفضاء تبين للعلماء أن المجرات تبتعد عن بعضها البعض بسرعة تتناسب مع أبعادها وطول المسافات الفاصلة بين كل منها ، فسرعة ابتعاد المجرات تزداد مع زيادة المسافة الفاصلة بينها وبين المجرات الأخرى ، وأن كل زيادة فى المسافة تصل إلى مليون بارسك تقابلها زيادة فى سرعة الابتعاد تبلغ نحو ١٠٠ ميل/ث .

وأكد علماء الفلك أن الكون يتمدد ويشتمل هذا التمدد النطاق الواسع لا المحلى ، فأبعاد مجموعتنا الشمسية لا تتمدد ، وكذلك المسافات داخل مجرتنا والمسافات داخل مجموعتنا المحلية . ولكن تبين أن التمدد يبدأ بعد حدود مجموعتنا المحلية أى بعد نحو نصف مليون بارسك . فالمجرة العملاقة (م ٨١) التى تقع على بعد ٢,٥٠٠,٠٠٠ بارسك تبتعد عنا بسرعة

---

(١) أ ـ محمود القاسم : « الإسلام والحقائق العلمية » ، دار الهجرة ـ بيروت ـ الطبعة الثانية (١٩٨٦م) ، ص ١٢٢ ـ ١٢٧ .

ب ـ « الكون » ، الموسوعة العلمية الحديثة ـ تأليف كولين رونان ـ بيروت (١٩٨٠م) ، ص ٨٠ .

(٢) د. يحى هاشم فرغل :« الإسلام والاتجاهات العلمية المعاصرة» ، دار المعارف ـ ١٥٠ ـ ١٥٤ .

تبلغ ٨٠ ميلا/ث .ومجرات سحابة السنبلة التى تقع على بعد ١٠ مليون بارسك تبتعد عنا بسرعة ٧٥٠ ميلا/ث . ويبتعد عنا التجمع المجرى بالإكليل الشمالى بسرعة تزيد على ١٣ الف ميل/ث . فى حين أن تجمع الشجاع الذى يبتعد عنا بنحو ٤٠٠ مليون بارسك يبتعد عنا بسرعة ٣٨ الف ميل/ث .

ويعتقد أرثر ادنجتون بأن تمدد الكون يصحبه خلق مادة جديدة فيه ، فكلما ترك التمدد فضاء كبيراً تتكون مواد أخرى جديدة وتتجمع على شكل نجوم ومجرات جديدة . ويؤكد هذا الباحث بأن المجرات البعيدة التى نراها فى الفضاء سوف لا تختفى نتيجة للتمدد والاتساع ذلك لأن هناك مجرات جديدة تخلق باستمرار . فالمجرات كما يرى ادنجتون تولد بصفة مستمرة وتتحرك متباعدة أحداها عن الأخرى فى الفضاء اللانهائى .

ويؤكد العلماء أن خلق المادة يدفع الكون إلى التمدد ، إذ إن خلق المادة يؤدى إلى مط الفضاء مطاً ، بحيث يباعد بين التجمعات المجرية بعضها عن البعض الآخر . وخلق المادة المستمر لا يدفع الكون إلى التمدد وحسب ، بل إنه يحدد أيضا معدل هذا التمدد ، وبحيث لا يؤدى إلى ازدحام الفضاء السماوى بالمادة ، كما أنه لا يؤدى إلى جعله أقل امتلاء بالمادة ، ذلك أن معدل التمدد يثبت عند القيمة التى تجعل انخفاض الكثافة الناتج من التمدد يعادل تماماً الزيادة الناتجة من خلق المادة المستمر ، وهكذا تظل متوسط كثافة الكون ثابتة .

الفصل الثانى
نشوء الكون وكوكب الأرض

منذ ميلاد الإنسان على سطح الأرض أخذ يتأمل ويفكر ويستبصر فى كل ما يحيط به من سماء وأرض ، وما يحدث له من كوارث طبيعية ، وما يقع عليه بصره من ظواهر غريبة . وانشغل الفكر الإنسانى منذ ذلك الحين وحتى اليوم بكيفية نشوء الكون ومعرفة أسراره وخباياه التى يقف علمه المحدود أمامها عاجزاً مقهوراً وحائراً مبهوراً . وكلما ازداد الإنسان معرفة وعلماً ، سرعان ما تنكشف له بعض الظواهر والشواهد التى لم يكن يعرفها من قبل ، والتى لا يجد لها تفسيراً يقينياً يبدد الغيوم والغموض حول قضية نشوئها وعملها .

وحتى آلاف السنين بعد ظهور الإنسان على سطح الأرض ظل يعتقد أن الكون يتألف فقط من الأرض الفسيحة الأرجاء التى يعيش عليها ، ومن الشمس والقمر والنجوم التى تسطع وتتلألأ فى السماء . ومع تقدم علم الفلك واختراع آلات الرصد المطورة ، واكتشاف المراقب الحديثة ذات المرايا العاكسة للضوء وتلك اللاسلكية (الرادية) ، أدرك الإنسان أن كوكب الأرض ما هو إلا كوكب صغير جداً بالنسبة للمجموعة الشمسية ، وأن هذه المجموعة الأخيرة هى إحدى بلايين المجموعات الشمسية الأخرى فى الكون . وأصبحت المشكلة التى يواجهها علماء الفلك اليوم تتمثل فى وفرة المعلومات التى تحتاج منهم إلى دراسة وتحليل وتفسير وتعليل وليست ندرة المعلومات كما كان عليه الحال من قبل .

وأسهم تقدم علوم أخرى مثل الرياضيات والفيزياء والكيمياء إلى جانب إختراع الأدوات التقنية الحديثة المستخدمة فى الدراسات الفلكية فى معرفة بعض خبايا الكون ونظامه وعناصره التى يتألف منها . ومع ذلك ظلت القضايا الجوهرية التى تتعلق بكيفية نشوء الكون وأصل مادته الأولية التى تكون منها موضع جدل وخلاف بين العلماء . ولم يستطع العلم أن يقدم فى هذا الشأن حتى الآن سوى اقتراحات وافتراضات

ونظريات ظنية قابلة للتغيير والتعديل من آن إلى آخر .

واستطاع العلم البشرى الوصول إلى بعض القوانين التى تختص بحسابة المسافة والزمن والسرعة والكثافة والصوت والضوء والجاذبية وانشطار الذرة حسب ما شاهده العلماء فى الأفق أو الآفاق المتاحة لهم ، وحسب نتائج التجارب المعملية التى قاموا بها ، ولكن تبين للعلماء أن حركة الكواكب وسرعة النجوم فى مداراتها ، والمسافات الفاصلة بين نجم وآخر فى الفضاء لا تقاس بوحدات القياس التى عرفها الإنسان وألف استخدامها على سطح الأرض ، بل هى آلاف أضعاف تقدير مثل تلك التى على سطح الأرض . وهناك قوانين يعجز الفكر البشرى حتى أن يتخيل معالمها وأبعادها ، وتبارك قول الله عز وجل : ﴿ **وما أوتيتم من العلم إلا قليلا** ﴾ . فسبحان الذى خلق كل شىء بقدر وبالحق ، وما أمره إلا واحدة كلمح بالبصر ، وإذا أراد شيئاً أن يقول له كن فيكون ، وله مقاليد السماوات والأرض وهو على كل شىء قدير .

تطور الفكر البشرى حول نشأة الكون :

إبان أيام الحضارات البشرية القديمة ، كان الإنسان يخشى الظواهر الطبيعية فى الكون ، وكان يقدس الشمس والقمر والنجوم والرياح والبحار والعواصف. وتأسست مفاهيم الإنسان فى هذه الفترة على الشرك وتعدد الآلهه وتأليه الطبيعة وتصورها بالتصور الميثولوجى الأسطورى ، وخصص الإنسان إلها لكل عنصر من عناصر الكون ، فكان هناك إله الشمس ، وآلهة أخرى لكل من القمر والمطر والرياح والبحار . وتوصف الشمس فى الأساطير البابلية على أنها إله قدير ، وهو الذى سوى رأس جلجامش وزينه ، و«تيامه» هى ربة الأغوار والبحار وتعبر عن الفوضى والاضطراب ، و« مردوخ » هو إله المريخ رمز الهدوء والنظام ، وقصة « يما » فى الأساطير الفارسية تدل على مفهوم الإنسان للصراع المستمر بين الحق والباطل والخير والشر فى الكون .

واعتبرت الحضارات القديمة ومن بينها الفرعونية والبابلية والإغريقية

والرومانية أن عناصر الكون أزلية سرمدية لا تتعرض للفناء ، وأن الصراع مستمر ودائم بين كل منها وخاصة بين العناصر السماوية وتلك التى على سطح الأرض . فالصراع مستمر بين إله الشمس وإله الليل أو بين إله النور وإله الظلام .

ومنذ ظهور الإنسان على سطح الأرض أخذ يفكر فيما حوله من ظواهر ويتأمل فى عناصر الكون ، وبذل الإنسان محاولات بدائية فى تفهم نظام عناصر الكون وكيفية نشأته . وفى العهد الإغريقى منذ القرن الخامس قبل الميلاد ، برز فى بلاد اليونان منهج الفلسفة الطبيعية ، وعنى أصحاب هذه المدرسة بدراسة أصل هذا الكون ، والمادة الأولية التى نشأ عنها ، فلا يخلق فى رأيهم من العدم وجود . وعرفت هذه المدرسة الفكرية باسم المدرسة الأيونية وكان من بين أصحابها طاليس الذى اعتبر العنصر الرطب أو الماء هو المادة الأولى التى نشأ عنها الكون . فى حين رأى انكسيمانس [١] أنها الهواء ، واعتقد هيراقليطس أنها النار أو النار المعنوية التى تشتعل فى العقول والنفوس والقلوب ، وهى مصدر كل الطاقات . أما انبادوقليس فقد عدل عن مبدأ أو عنصر واحد لأصل الكون ، ونادى بالعناصر الأربعة مجتمعة كلها وهى النار والهواء والتراب والماء ، وأرجع التغيرات التى نشاهدها فى الكون إلى قوتين أو مبدأين هما :

أ - مبدأ الائتلاف أو الحب .

ب - مبدأ الانفصال أو الكراهية .

وعن ظهور الكائنات الحية فى الكون فقد أرجعه امبادوقليس إلى أثر البيئة والانتخاب الطبيعى Natural Selections والبقاء للأصلح ، والمقاومة فى سبيل البقاء . وكل هذا يتم عن طريق التطور الآلى الذى يعتمد على عمليتى الائتلاف والانفصال . وهى مفاهيم أتبعها داروين فيما بعد وأخذ

---

(١) د. يحيى هويدى : « تطور الحياة الفكرية العامة ... » ، الباب الأول من كتاب « تطور الفكر الفلسفى » - مطبوعات جامعة الإمارات العربية المتحدة (١٩٩١م) ، ص ١٣ - ١٢٦

عنها عند اقتراحه لنظرية النشوء والارتقاء والتطور .

وقد حاول الفلاسفة تفسير ظاهرة التغير والتعدد فى الكون ، واقترح **انكسيماندروس** مبدأ « اللامتناهى » أو التغير اللامتناهى ، وأطلق عليه اسم « الأبيرون » ، وشبهه بالدوامة الخالدة التى تجعل الكون كله فى تطور وتغير دائمين إلى ما لا نهاية . واعتقد هذا الفيلسوف بأنه عند فناء جزء من هذا العالم سرعان ما يتوالد جزء آخر محله وهكذا يتولد على هذا النحو عدد لا نهاية له من الأكوان . بل راح أبعد من ذلك وطبق هذه الفكرة على الكائنات الحية ، حيث بدأت على سطح الأرض بالكائنات البسيطة التركيب وانتهت بالكائنات المعقدة التركيب ، وأثناء تطورها التدريجى اندثرت كائنات أخرى جديدة حلت محلها ، وأدى هذا إلى التنوع فى الكائنات الحية على سطح الأرض ، وهى مفاهيم استفاد منها داروين كذلك فى نظريته المعروفة عن التطور فيما بعد .

وهناك رأى آخر تزعمه أصحاب المدرسة **الفكرية الإيلية** وعلى رأسهم بارمنيدس وزينون وميلسوس ، ونادت هذه المدرسة بظاهرة الثبات أو الإستقرار فى الكون . أما المدرسة **الفيثاغورية** فقد اعتنقت فكرة أن مظاهر التناسب والنظام التى نلاحظها فى عالم الرياضيات الزاخر بالأعداد والأشكال الهندسية إنما يشبه تماماً ما يتمثل فى الكون من تناسب ونظام بين عناصره المختلفة ، وهكذا برزت لهم فكرة أن الكون هو عدد ونغم ، وأضاف **انكساغوراس** مبدأ وجود قوة عاقلة فى الكون أسماها « العقل » تخترق جميع الموجودات وهى التى تؤلف أو تفرق بين عناصر الكون المتعددة . وهكذا يتبين أن المدرسة الفكرية المادية القديمة قد فشلت فى معرفة أصل الكون وكيفية نشوئه وعجزت عن تحديد مادته الأولية التى خُلق منها .

وفى هذه الفترة نفسها من الزمن - من القرن الخامس إلى القرن الرابع قبل الميلاد - ظهرت مدارس فكرية أخرى فى بلاد اليونان ، وكان منها مدرسة التصورات العقلية وكان من أظهر أصحابها سقراط وأفلاطون

وأرسطو . وقد حكم سقراط العقل فى أفعال الإنسان وسلوكياته ، ونادى بأن « الفضيلة علم » وبشعار « اعرف نفسك بنفسك » ، وفى بحثه عن التصور الكلى أو الماهية كان يتحاور مع تلاميذه فيما عرف بطريقة الاستقراء السقراطى وباستخدام العقل . ومن ثم فإن سقراط يعد أول من وضع أسس العقلانية فى تاريخ الفلسفة . أما **أفلاطون** (أحد تلاميذ سقراط) فقد ربط مهمة الإنسان بالمعرفة ، وتعريف الإنسان فى نظره هو « الإنسان العارف » ، فحبه للاستطلاع والمعرفة يدفعه إلى التأمل والتبصر فيما حوله . وأراد أفلاطون أن تكون للماهيات العقلية موضوعية منفردة متميزة تباعد بينها وبين تأثرها بالذات ، فأفرد لها عالماً خاصاً هو « عالم المثل » ، ولكى يصل إلى هذا العالم لابد أن يتبع المفكر أسلوب « الجدل » . وهكذا نادى أفلاطون بعالمين هما عالم الحقيقة وهو عالم المثل ، وعالم الأشباح أو الظلال وهو عالم المحسوسات ، وأضاف إليهما عالم آخر وهو عالم المادة الأزلية ، التى هى عبارة عن وعاء لكل الاستحالات الحسية التى نشاهدها فى هذا الكون المتغير . وأشار أفلاطون كذلك إلى ما أسماه بالمصادفة أو الصدفة فى تحرك الأشياء وعلاقة بعضها بالبعض الآخر . ثم ابتكر أفلاطون كذلك فكرة « المدينة الفاضلة » أو مدينة زيوس أو جمهورية أفلاطون التى تتبع فيها هذه المثل والتى يعلو وجود كل مثال منها على وجود كل الأشياء المحسوسة .

أما **أرسطو** فقد استبدل بنظرية الصور الذهنية البشرية نظريته فى المعرفة التى تستند على تلازم الصور بالمادة أو الهيولة . فأية ظاهرة فى الكون مكونة من صورة ومادة . ولكى يفسر قوانين الحركة فى كل أجزاء الكون استخدام ما أسماه بقانون « القوة والفعل » فكل كائن حى ، حياته بالفعل ولكنه ميت أو فان بالقوة .

وخلال فترة **العصور الوسطى** فى أوربا حتى بداية القرن السادس عشر ظل التفكير الدينى يهيمن على التفسيرات التجريبية العلمية المختلفة . وكان يعتقد أن الأرض هى فقط المناسبة لسكنى الإنسان ، ومن ثم فإن كوكب الأرض يتوسط كواكب المجموعة الشمسية (تلك الكواكب

التى كانت معروفة خلال هذه الفترة هى عطارد والمريخ والمشترى وزحل والقمر) ، وأن الكواكب التى تقع على يمين الأرض والأخرى التى تقع على يسارها لا تصلح لحياة الإنسان إما لشدة حرارتها وسخونة أجسامها أو تبعا لشدة تجمدها وبرودتها . وعرفت تلك النظرية التى تتوسط الأرض فيها كواكب المجموعة الشمسية باسم Geocentric Theory of The Universe . ويعتقد بأن الجغرافى الإسكندرى كلاديوس بطليموس ، هو واضع أساس تلك النظرية ، ومن ثم يطلق عليها البعض اسم نظرية بطليموس عن الكون [١] Ptolemaic Theory Of The Universe

ولكن بعد التقدم التدريجى فى علوم الفلك ، وتطورها المستمر نتيجة لزيادة المعرفة عن أسرار هذا الكون وخباياه انتشرت أفكار العالم الفلكى الكبير **نيكولاس كوبرنيكوس** N. Copernicus (١٤٧٣ ـــ ١٥٤١م) . وقد أكد هذا العالم أن الشمس هى النجم العظيم الحجم وأكبر أفراد المجموعة الشمسية ، ومن ثم يسهل رؤيتها بالعين المجردة على الرغم من عظم طول المسافة بينها وبين كوكب الأرض . كما أكدت كذلك أن جميع أفراد المجموعة الشمسية تدور حول الشمس الأم فى مدارات خاصة دائرية الشكل وعرفت نظرية كوبرنيكوس باسم Heliocentric Theory of the Universe . وأعلن كوبرنيكوس بأن كوكب الأرض لا يتوسط المجموعة الشمسية . بل يقع فيما بين كوكب الزهرة وكوكب المريخ . وحقق كل هذه الآراء الفلكية فى كتابة المعروف باسم « دورة الفلك » Volutionnibus Orbium Colestium . وعمل على تحقيق أفكار كوبرنيكوس ونشرها عدد من تلاميذه ومن بينهم بيتروبومباتوزى Pietro Pompanozzi ، وبرناردينو تيلثيو Bernardino Telesiio وجوردانو برونو Giordano Bruno ، إلا أن جميعهم تعرضوا للإهانات المزرية ، وللسجن ، بل وللقتل والحرق تبعا لمعارضتهم أفكار الكنيسة ورجال الدين إبان تلك الفترة من العصور الوسطى .

---

(١) د . حسن أبو العينين : « كوكب الأرض » ، الطبعة العاشرة ـ الإسكندرية (١٩٨٨م) ، ص ٥٨ ـ ٧٧ .

وقد عمل **كبلر** (١٥٧١ - ١٦٣٠م) على تعديل نظرية كوبرنيكوس ، وأكد بأن مدار معظم الكواكب يبدو إهليلجيا أو بيضاوى الشكل وليس مدارا دائريا تماما كما رجح كوبرنيكوس من قبل . كما تحقق كبلر من أن حركة الشمس الظاهرية اليومية ليست سوى نتيجة لحركة الأرض اليومية حول محورها .

ولكن بعد أن اكتشف **جاليليو** (١٥٦٤ - ١٦٤٢م) جهاز المنظار الفلكى عام ١٦٠٩م ، اتسعت المعرفة عن الكون والكواكب الفضائية ، وأمكن لجاليليو أن يحقق أفكار كوبرنيكوس النظرية بصورة فعلية عملية غير قابلة للشك . ومن أهم النتائج التى حققها جاليليو باستخدام منظاره الفلكى ما يلى :

أ - أن القمر كوكب صغير يتبع كوكب الأرض ، ويكاد التركيب المعدنى العام الذى يتألف منه جسم القمر يشبه إلى حد كبير التركيب المعدنى لصخور كوكب الأرض

ب - أن كوكب الزهرة جزء من الفضاء السمائى يشع نوره الجبار فى الفضاء ، ولكنه فى الواقع كوكب معتم يعكس سطحه الأشعة الضوئية التى تسقط عليه وظهور الكواكب المعتمة أكدت من ناحية أخرى بأن كواكب المجموعة الشمسية ليست ثابتة ، بل تتحرك وتدور فى مدارات مختلفة حول الشمس .

جـ - ظهرت لأول مرة البقع الشمسية داخل إطار نجم الشمس العظيم ، وتأكد الفلكيون كذلك أن للشمس هى الأخرى دورة خاصة بها حول محورها .

اكتشف جاليليو خلال تلك الفترة الأقمار التابعة لكوكب المشترى ، وشاهد أربعة أقمار رئيسة تحيط بالمشترى كما يحيط القمر بالأرض .

وعلى ذلك تبين لعلماء الفلك خلال تلك الفترة أن لمعظم كواكب المجموعة الشمسية أقماراً تابعة لها ، وتسبح حولها ، وقد استعان بعض

الفلكيين بتلك الملاحظات المهمة عند تفسير العلاقة بين نجم الشمس العظيم ونشأة بقية أفراد المجموعة الشمسية .

ثم خطت العلوم الفلكية خطوة سريعة إلى الأمام بعد ظهور نظرية **نيوتن** (١٦٤٣ ـ ١٧٢٧) وقانونه المشهور عن الجاذبية بين الأجسام المختلفة تبعا لكثافتها وطول المسافة الفاصلة بين كل جسم وآخر . وأوضح نيوتن أن عملية الجذب هى التى تنظم سير الكواكب والأقمار والنجوم فى الفضاء الخارجى . وقد توصل إلى قانونه المشهور وهو أن قوة الجذب بين أى جسمين تتوقف على حاصل ضرب كتلة الجسمين مقسوما على مربع المسافة بينهما . فلو فرض أن هناك جسما كتلته ك١ وآخر كتله ك٢ والمسافة بين مركزيهما ف ، فإن قوة الجذب بين هذين الجسمين تتناسب مع $\frac{\text{ك١} \times \text{ك٢}}{\text{ف}^{٢}}$

ومن ثم نجح نيوتن فى أن يحقق بأن كلا من أفراد المجموعة الشمسية يقع فى مدار خاص لا يغيره ، تبعا لتناسب العلاقة بين قوة جذب الشمس لكتل أجسام هذه الكواكب المختلفة من ناحية واختلاف طول المسافة الفاصلة بين كل منها وجسم الشمس من ناحية أخرى ، وهكذا دخل حقل الأبحاث الفلكية منذ بداية القرن الثامن عشر كثير من علماء الطبيعة والرياضيات والكيمياء ، وأضافوا إلى المعرفة الفلكية الكثير من المعلومات التى لم تكن معروفة من قبل .

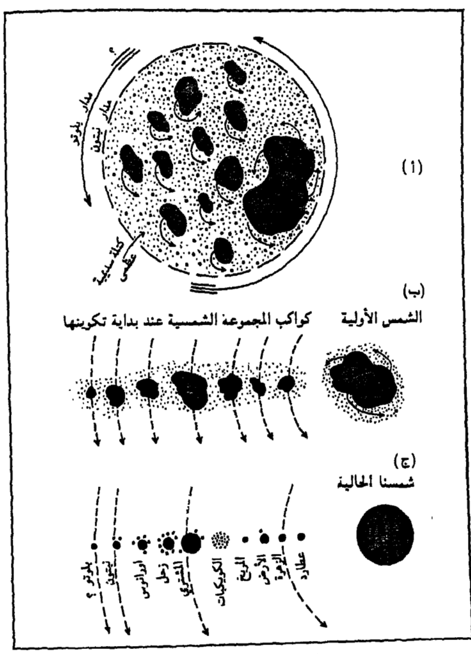
ومنذ بداية القرن الثامن عشر بدأ يتبلور علم الفلك وعلم الجيولوجيا وتحللت دراساتهما من المؤثرات الدينية ، وتعاليم الكنيسة ، واعتمدت أبحاث هذين العلمين على المناهج العلمية التجريبية المختلفة . ثم تضافرت بعد ذلك أفرع مختلفة من العلوم الأخرى كان من أهمها الرياضيات والطبيعة ، والاقيانوغرافيا والجيومورفولوجيا والكيمياء لتفسير نشأة كوكب الأرض وتطور نمو الظواهر التضاريسية التى تتمثل فوق سطحه .

وفى عام ١٧٥٥م ظهرت نظرية **إيمانويل كانت** Immnuel Kant[١] وقد كان هذا العالم إبان هذه الفترة أستاذاً للفلسفة وعلم الفلك فى جامعة

كونجزبرج Konigsberg ، وأوضح « كانت » أن المجموعة الشمسية كانت تتركب كلها من مجموعة هائلة من أجسام صلبة معتمة صغيرة الحجم جداً ، تسبح بسرعة هائلة ، وتبعا لاصطدام هذه الأجسام واحتكاك اجسامها بعضها بالبعض الآخر ، تولدت حرارة شديدة عملت على صهر هذه الأجسام ، ثم تكوين السديم الذى اخذ يبرد بدوره ويتجزأ إلى كتل صغيرة كونت كل منها بعض أفراد المجموعة الشمسية .

وقد أكد هذه النظرية العالم الفرنسى لابلاس Pierre S. Laplace فى عام ١٧٩٦م . وأوضح أن المجموعة الشمسية كانت تتركب أصلا من السديم (جسم غازى متوهج هائل الحجم) . وعندما تعرض السديم لفعل البرودة تقلصت أجزاء كبيرة منه ، وانكمشت تدريجيا وساعدت عملية دوران كتل السديم حول نفسها إلى انبعاج المناطق الاستوائية منها ، ثم انفصال هذه الأجزاء المنبعجة (عندما تزداد قوة الطرد المركزية عن قوة الجذب) مكونة كواكب المجموعة الشمسية . وعلى ذلك اعتقد لابلاس أن أفراد المجموعة الشمسية بما فيها الشمس هى من أصل واحد يتمثل فى مادة السديم الغازية الساخنة ويعزى سبب اختلاف المواد التى يتألف منها كل من كواكب المجموعة الشمية فى الوقت الحاضر إلى عملية برودة جسم كل كوكب خلال المراحل الطويلة لنشأته وتكوينه . فشمسنا الحالية تعد جزءاً من بقايا هذا السديم ، ولا زالت ملتهبة بفعل الاضطرابات التى تحدث فى باطنها ، فى حين أن كوكب الأرض تعرض لعمليات برودة سريعة ، ونجم عن ذلك أن تقلص جسمه ، وبرد سطحه ، وإن كان باطنه لا يزال منصهرا (شكل ٢٦) .

(1) Immanuel Kant, "A. General Theory of the Heaven, or Essay on the mechanical structure of the Universe", (1955).



شكل (٢٦) تفسير نظرية لابلاس

أ- كتلة سديمية غازية هائم الحجم احتلت مدار نبتون وأخذت تبرد بالتدريج وتكونت منها كتل شبه باردة تدور حول نفسها .

ب- تأثرت الكتل الصغيرة الحجم بجاذبية الكتل الأكبر حجماً وأخذت تدور حولها .

جـ- فى مرحلة متأخرة تكونت الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية .

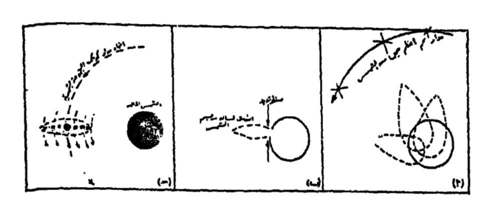
ومنذ بداية القرن العشرين ظهرت نظريات فرضية أخرى حاولت تفسير نشأة كوكب الأرض والعلاقة بينه وبين بقية المجموعة الشمسية ، ومن بين هذه النظريات ما يلى :

١ - نظرية توماس تشمبرلين ، وفورست مولتن :

T.C. Chamberlin and F.F. Moulton

تقدم هذان العالمان بتلك النظرية فى عام ١٩٠٥م ، وعرفت باسم نظرية الكويكبات Planetesimal Theory . وترجع النظرية أن المجموعة الشمسية انفصلت عن الشمس نفسها (أى لم تتكون من جسم السديم كما رجح لابلاس من قبل) لمرور نجم عملاق الحجم بالقرب من مدار الشمس الأولية Primitive Sun ونتج عن ذلك انبعاج جسم الشمس الأولية ، وعندما تعرضت هذه الأجزاء المنبعجة للبرودة التدريجية ولفعل الضغط الشديد انفصلت عن الشمس الأولية وكونت الكواكب السيارة التى بردت أجسامها كثيرا عن جسم الشمس الذى لا يزال ملتهباً (شكل ٢٧)

وعلى ذلك يتضح أن نظرية الكويكبات لتشمبرلين ومولتن تشابه النظرية السديمية التى رجحها لابلاس من قبل ، ذلك لأن كلا منهما اعتبر ان أجسام جميع كواكب المجموعة الشمسية بما فيها الشمس تعد من أصل واحد ولكن تنص نظريات الكويكبات على أن جميع كواكب المجموعة الشمسية تألفت ونشأت من جسم الشمس الأولية Primitive Sun نفسها ، فى حين تنص النظرية السديمية على أن الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية تكونت من جسم السديم الغازى الذى كان يشغل حيزا كبيرا فى الفضاء الكونى .



شكل (٢٧) الشمس الأولية ونظرية العمود الغازى

أ- الشمس الأولية ، وقد اقترب من مدارها نجم عملاق الحجم جذب نحوه لسانا من جسم الشمس .

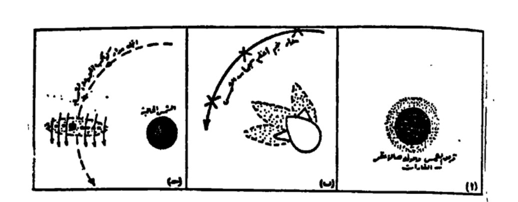
ب ـ تعرض هذا اللسان للضغط الشديد وانفصل عن جسم الشمس.

جـ ـ تكونت من هذا اللسان كواكب المجموعة الشمسية فى حين كونت الكتلة الباقية من الشمس الأولية شمسنا الحالية .

وقد رحب كل من **هارولد جيفريز وجيمس جينز** فى عام ١٩٢٩م H. Jeffreys and J. Jeans بتلك النظرية السابقة (نظـرية الكويكبات) ، وأوضحا أن لقوى المد والجذب بين أجسام المجموعة الشمسية المختلفة الكثافة والحجم أكبر الأثر فى عملية تكوين كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها التابعة لها .

ولكن لكى يفسر كل من جيفريز وجينز الاختلاف الحالى فى خصائص المواد التى تتنزلف منها أجسام الكواكب الفضائية وجسم

الشمس الملتهب ، رجحا أن عملية الجذب بين النجم السيار الهائل الحجم وجسم الشمس الأولية اقتصرت أساسا على الغلاف الغازى الذى كان يحيط بقرص الشمس الأولية (تبعا لبرودة سطح الشمس نسبيا عن باطنها) ، وامتد هذا القرص الغازى على شكل لسان غازى هائل الإمتداد فى الاتجاه الذى مر فيه النجم السيار الكبير . وقد كان هذا العمود الغازى الذى انفصل عن الشمس أكثر سمكا وضخامة فى قسمه الأوسط عن طرفيه . وقد نجم عن ذلك أن الكتل أو العقد التى انفصلت واستقلت عن العمود الغازى من قسمه الأوسط كانت أكبر حجما من غيرها ، وأدت إلى تكوين الكواكب الكبيرة الحجم (المشترى وزحل) فى حين أن الكواكب التى تكونت عند طرفى هذا العمود الغازى أصبحت أصغر حجما من المجموعة الأولى ، ويتفق هذا الترتيب فى أحجام الكواكب مع الحقائق المعروفة الخاصة بالمجموعة الشمسية . (شكل ٢٨) .



شكل (٢٨) نظرية النجم السيار الهائل الحجم

أ ـ الشمس الأولية وحولها القرص الغازى الهائل الحجم .

ب ـ اقتراب نجم عملاق الحجم من الشمس فجذب إليه الغازات التى كانت محيطة بالشمس .

جـ ـ انفصل القرص الغازى عن الشمس على شكل لسان طولى وأخذ يبرد بالتدريج ،وتنفصل كتل منه بعضها عن البعض الآخر وتتكور ومن ثم تكونت منه بقية كواكب المجموعة الشمسية .

وقد عارض العالم الفلكى الأمريكى **ليمان سبتزر** Lyman Spitzer نظرية النجم السيار الهائل الحجم . وأوضح سبتزر أن أى مواد تنفصل عن جسم الشمس لابد وان تتطاير فى الفضاء الكونى على شكل مفرقعات شديدة تبعاً للضغط الشديد الذى تتعرض له اجسامها ، هذا فضلا عن البعد الكبير فيما بين الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية . ولو تصورنا أن حجم الشمس فى مثل حجم البرتقالة فإن الكوكب بلوتو يصبح فى حجم ذرة الحصباء ويبعد عنها بأكثر من ١٢٥ مترا . وتحت هذه الظروف وجد هذا الباحث أنه من الصعب أن تتكون اقمار منفصلة اساسا عن جسم الشمس نفسها .

كما اكد الأستاذ **سمارت** W. M. Smart فى عام ١٩٥٩م أن أية نظرية تعالج تفسير نشأة كواكب المجموعة الشمسية ، لابد أن يضع صاحبها فى الاعتبار أن نشأة هذه الكواكب ، لا ترتبط بجسم الشمس نفسه و ذلك لأن اجسام هذه الكواكب تختلف معادنها عن جسم الشمس . وأوضح سمارت أن نجم الشمس يبدو بعيدا جداً عن مجموعة هذه الكواكب الصغيرة المتقاربة فيما بينها . ويعد أقرب كوكب منها للشمس هو ألفا سنتورى Alpha Centauri ، الذى يبعد عن الشمس بمسافة يبلغ طولها نحو ٢٥ مليون ميل . ويلى ذلك كوكب عطارد الذى يبعد عن الشمس بمسافة طولها ٣٦ مليون ميل [1] . فى حين يبتعد بلوتو عن الشمس بمسافة يبلغ طولها نحو ٣٦٧٠ مليون ميل .

---

a - Wooldridge, S. W. and Morgan R.S. " An outline of geomorphology" London (1960) P.1-7 .

b - Smart, W.M., "The origin of the Earth" , a Pelican Book (1959). P.25

c - Read, H. H., and Watson, "Introduction to geology", London (1962)p.45-48.

d - Cowen R.C., "Frontiers of the sea". London, (1960)58-51.

هـ - حسن أبو العينين : « دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات » بيروت - ١٩٦٧م . الطبعة التاسعة- الأسكندرية (١٩٩٦) .

و- حسن أبو العينين : « كوكب الأرض » الأسكندرية - الطبعة العاشرة - ١٩٨٨ .

٢ ـ نظرية الشمس التوأمية : The Binary Star Theory

رجح هذه النظرية العالم الفلكى راسيل H.N. Russell فى عام ١٩٢٥ م ، لكى يفسر تكوين أفراد العائلة الشمسية من نجم آخر غير نجم الشمس الأصلى القديم Primitive Sum ، وعلى ذلك أوضح راسيل أن شمسنا كانت عبارة عن زوجين أو توأمين متقاربين فى مدارهما ، وتكونت المجموعة الشمسية من أحد هذين التوأمين ، بينما احتفظ التوأم الآخر (شمسنا الحالية) بصورته التى يبدو بها اليوم .

وحقق هذه النظرية الدكتور ليتلتون Lyttleton فى عام ١٩٣٦م ، وأوضح أنه كان للشمس الحالية توأم آخر يبلغ نصف قطره طول المسافة التى تمتد بين زحل وأورانوس ، أى نحو ١٧٠٠ مليون ميل . وعلى أساس أن كتلة هذا النجم التوأم مماثلة تماما لكتلة الشمس ، على ذلك تستغرق فترة دوران هذا الكوكب حول نفسه دورة كاملة فى نحو ٥٠ سنة ، ويسير بسرعة تبلغ نحو ٦ ميل /الثانية فقط . وعندما تعرض هذا الكوكب الشمسى التوأمى لمرور نجم آخر سيار ، يسير بسرعة ٢٠ ميل/الثانية . نتج عن ذلك تكوين العمود الغازى ، الذى أخذ يبرد بالتدريج وتكونت منه المجموعة الشمسية

وحاول كل من روس جن Ross Gunn وبنارجى A. C Banerji تفسير كيفية تكوين الكواكب التوأمية فى نظرية عرفت باسم نظرية انشطار الكواكب The Fission Theory وتتلخص هذه النظرية فى أن الكواكب الكبرى تدور حول نفسها ، وينجم عن ذلك تعرضها للبرودة التدريجية ، ويزداد تقلص أجسامها ، وعلى ذلك قد تفقد الكواكب تماسك أجزاء أجسامها ، ومن ثم ينشطر كل منها إلى كوكبين أو أكثر ، مكونة الكواكب التوأمية أو الكواكب المزدوجة .

أما الأستاذ هانز ألفين Hannes Alven فقد رجح أن عملية انفصال الكواكب الشمسية بعضها عن بعض لا يعزى إلى أثر فعل القوى الميكانيكية Mechanical Forces (قوة الجذب وقوة الشد وقوة الطرد

المركزية) ، ولكنها قد تعزى إلى أثر فعل القوى الكهربائية المغناطيسية [١] Electromagnetic Forces التى تتولد داخل أجسام العائلة الشمسية . وتتحكم هذه القوى فى عملية انشطار بعض الكواكب ، ثم تحديد مواقعها ومراكزها فى الفضاء الكونى ، وتشكيل طبيعة مداراتها .

٣ - نظرية فايسكر أو نظرية السحب السديمية :

The Nebular - Cloud Theory

رجح فون فايسكر Von Weizsacker هذه النظرية فى عام ١٩٤٤م . وهى تشبه تلك التى رجحها سيمون دى لابلاس فى عام ١٧٩٦م مع إضافة بعض الاقتراحات الجديدة عليها . وقد استعان فايسكر بقوانين الديناميكا الحرارية والفيزياء الإحصائية إلى مدى بعيد لتفسير نشأة كواكب المجموعة الشمسية .ويعتقد فايسكر أن المجموعة الشمسية بما فيها الشمس كذلك كانت تتألف يوماً من سحب هائلة من السدم التى تسبح فيها الغازات والغبار الكونى والمواد المعدنية الدقيقة الحجم جداً .

وتعد هذه السدم هائلة الحجم جداً ، حيث يذكر الأستاذ سمارت W. M. Smart فى عام ١٩٥٩م بأنه لو تصادف دخول شمسنا الحالية إحدى مجموعات هذه السدم الهائلة الحجم فلا تخرج من الجانب الآخر لها ، إلا بعد مضى مئات الآلاف من السنوات . وتبعد هذه السدم من كوكب الأرض ببضعة الاف من السنوات الضوئية [١]

٤ - نظرية ميلاد النجوم الجديدة : The Nova Theory

رجح هذه النظرية الأستاذ هويل [٢] F. Hoyle فى عام ١٩٤٦م ، وأوضح هذا الباحث أن الفضاء الكونى يشتمل على مجموعات هائلة من الكتل السديمية .وتبعا للاضطرابات النووية داخل أجسام هذا السدم ، ينبثق منها أحيانا أقمار كونية صغيرة تتألف من كتل غازية موهجة . وعندما تبرد هذه الأقمار بالتدريج ، تفقد قوتها وتتحول إلى كتل متقلصة معتمة ،

---

(١) (أ) حسن أبو العينين : دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات ، بيروت (١٩٦٧) – الاسكندرية – الطبعة التاسعة (١٩٩٦)

(ب) حسن أبو العينين : أصول الجيومورفولوجيا ، دار المعارف – ١٩٦٥ – الطبعة العاشرة (١٩٨٩)

(جـ) حسن أبو العينين : الأقيانوغرافيا الطبيعية ، دار المعارف (١٩٦٨)

(1) Smart, W.M., "The origin of the Earth" . A. Pelican Book (1959), P.202

(2) Hoyle, F. "The Nature of the Universe ", London,1946.

ثم قد تنجذب ثانية نحو جسم السديم الأكبر حجماً . وقد أوضح هويل كذلك أنه فى عام ١٥٨٢م ظهر نجم جديد فى الفضاء الكونى عرف باسم Tycho Brahe's Nova ، وقد كان هذا النجم مضيئاً بشدة لعدة أيام متوالية وشاهده الناس بالعين المجردة أثناء الليل والنهار . ولكن تلاشى هذا النجم بعد ميلاده بأيام معدودات فقط ، ويرجح أنه انجذب ثانية صوب جسم السديم الذى انفصل عنه . وفى عام ١٩١٨م ، ولد نجم جديد آخر هو Nova Aquilae ، وكان هذا النجم أشد النجوم لمعانا فى الفضاء الكونى حتى نهاية العام الذى ظهر خلاله ، وأصبح ليس له وجود فى وقتنا الحالى (١)

ويعتقد هويل (٢) أن كواكب المجموعة الشمسية لم تنفصل عن جسم الشمس الحالية ، ذلك لأن تلك الكواكب تقع بعيدة جداً عن موقع شمسنا الحالية ، ومن الصعب إرجاع ذلك إلى فعل تطاير الكواكب فى الفضاء ثم احتلالها لمدارات خاصة ثابتة بفعل قوة جذب الشمس التى انفصلت وتطايرت منها . ومن ثم رجح هويل بأنه كان لشمسنا الحالية نجم مصاحب آخر أطلق عليه اسم Supernova وكلاهما انفصلا من جسم سديم غازى هائل الحجم . وقد تصادف أن أخذ جسم النجم المصاحب لشمسنا الحالية يفقد كميات هائلة من غازاته بفعل الإشعاع ، ومن ثم أخذ يتقلص وينكمش ويدور حول نفسه بسرعة أكبر مما أدى إلى انفجار وتطاير أجزائه . ويعتقد هويل كذلك أن عملية الانفجار كانت من الشدة ، بحيث أدت إلى تطاير أجزاء الجسم المصاحب للشمس بعيداً عن الفضاء الكونى الذى نعرفه ، وأما بقايا نواته فقد ظلت قريبة من جسم الشمس ، وهى التى تعرضت لعملية التقلص والبرودة والانكماش والتفتت ثم الدوران المحورى ، وتكونت منها كواكب المجموعة الشمسية والتى تحكمت قوة جذب شمسنا الحالية فى تحديد مدارات هذه الكواكب .

ويؤكد هويل أن الفضاء الخارجى يحتوى على كثير من مجموعات

---

(1) Smart, W.M., "The origin of the Earth " A. Pelican Book (1959) p.202.

(2) Hoyle, F. "The Nature of the Universe", London,(1946).

السدم التى تعد أكبر حجما من شمسنا الحالية بآلاف المرات ، وتتعرض أجزاء هذه السدم لتفاعلات نووية ينجم عنها تطاير بعض أجزائها فى الفضاء ، ثم سرعان ما تنجذب تلك الأجزاء المتطايرة إلى جسم السدم بعد برودتها وعندما تفقد قدراتها على الاستقلال بذاتها فى الفضاء . ويذكرنا هويل بأنه من بين أحسن أمثلة السدم الموهجة Luminous Nebulae هو « سديم الكابوريا أو السرطان البحرى » Crab Nebulae وأكد هويل بأن حجم هذا السديم الأخير لا يزال آخذا فى الارdياد التدريجى المستمر بمعدل ٨٠٠ ميل فى الثانية ، وأنه يقع على بعد ٤٠٠ سنة ضوئية من كوكب الأرض .

ولكن لم يفسر الأستاذ هويل كيفية حدوث التفاعلات النووية Nucle-ar Reaction داخل أجسام السدم ، وأسباب اختلاف طبيعة هذه التفاعلات من سديم إلى آخر . كما لم يوضح دورة هذه التفاعلات والنتائج التى تنجم عن حدوثها فى كل دورة أو مرحلة

وتبعا لتفسير « هويل » فإن أفراد المجموعة الشمسية ما هى إلا انبثاقات تفجرت عن جسم السديم الهائل الحجم الذى يبعد كثيرا عن مواقع هذه الكواكب . وحيث انفصلت هذه الكواكب منذ زمن بعيد ، لذا فقد تلاشى لمعانها وضوؤها ، وبردت بالتدريج ، ثم شكلت هذه السدم تركيبها المعدنى ونظام ترتيب هذه المعادن داخل أجسامها وساعدها فى ذلك عملية دوران هذه الكتل حول نفسها بعد أن تعرضت للبرودة التدريجية . كما ساهمت قوى الجذب بين هذه الأقمار على الاحتفاظ بمواقعها الحالية ودورانها حول نفسها فى مدارات خاصة بالفضاء الكونى .

وعلى ذلك فإن أصحاب نظرية السوبرنوفا يؤكدون أن جميع مواد وأجسام المجموعة الشمسية ، بل وغيرها من الكواكب الأخرى فى حالة تكوين وتحطيم دائمين ومستمرين ، أو بمعنى آخر - يتمثل فى الفضاء الكونى فى الوقت الحاضر جميع فترات تطور الكواكب من حالة الطفولة

إلى حالة الشيخوخة (أى من حالة تكوين المواد وتحطيمها إلى حالة تجميعها وترتيبها) .

ويرجح أصحاب هذه النظرية فى الوقت الحاضر أن كواكب المجموعة الشمسية كانت تتألف من كتل هائلة الحجم من غازات الأيدروجين . ويرجع هؤلاء العلماء عملية تكثف الغازات وتجمعها ، ثم برودتها إلى أثر الضغط الناتج عن الأشعة الضوئية ، هذا إلى جانب أثر الانعكاسات الضوئية التى تعمل على دفع الجزيئات الغازية والمواد إلى الأمام حتى تصل إلى مواقع ثابتة لا تتحرك فيها تبعا لتأثر هذه المواد بضغوط متساوية على جميع الجوانب . وحين تبدأ عملية تجمع غازات الأيدروجين تساعد هذه بدورها على حدوث عملية تقلص الكتل الغازية وبرودتها ثم انكماشها ودورانها حول نفسها ، وهكذا تبدأ مجموعات المجرة فى التكوين ، وتظهر فى البداية على شكل السنة غازية هائلة الحجم والشكل تدور حول نفسها ، وعندما تتعرض بعض أجزائها للبرودة التدريجية تتكون فيها الأجسام الكونية والكواكب الجديدة والتى يطلق عليها اسم السوبرنوفا Supernova .

٥ - نظرية الانفجارات النووية :

رجح هذه النظرية العالم الفلكى البلجيكى جورج لاميتر George Lemaitre فى عام ١٩٣١م ، وأكدها من بعده العالم الفلكى الروسى جورج جامو George Lemaitre فى عام ١٩٤٦م . وتتلخص هذه النظرية فى أن قسما من الفضاء الكونى وهو الواقع فيما بين مدار الأرض حول الشمس تقريبا كان يتألف من غازات كثيفة ، وقد أطلق جامو على التجمعات الغازية الأولى اسم المجرة الأولية Proto galaxys . وبمرور الزمن اتحدت ذرات هذه الغازات مع بعضها البعض وكونت الخلايا النووية . وقد صاحب تكوين الخلايا النووية انفجارات عنيفة أدت إلى تناثر الأجسام الكونية فى محيط أكبر اتساعاً من المحيط الذى كانت تشغله الغازات من قبل ، وكونت

ما يعرف باسم المجرة الفلكية ، وبعد عملية الانفجارات النووية بدأت تتكثف الغازات من جديد ، ومن ثم تمر بعمليات التقلص والانكماش والدوران وميلاد كواكب جديدة فى الفضاء الخارجى . وقد رجح جامو Gamow أن حركة الانفجار النووى حدثت من مدة ١٠ ـ ١٣ بليون سنة مضت ، فى حين بدأت عملية تكثيف الغازات بعد حدوث عملية الانفجار النووى بنحو ٢٥٠ مليون سنة .

أما العالم الكيميائى **هارولد أورى** H. C. Urey [١] ، فقد أوضح أن أفراد المجموعة الشمسية كانت عبارة عن سحب غازية تنتشر فيها المواد الصلبة الدقيقة الحجم ، وكانت تحيط بالشمس الأصلية على شكل قرص غازى مستدير الشكل A disk around the primitive sun ، واعتقد أورى أن جسم الشمس الأولية كان أكثر استقرارا بالنسبة للأطراف الهامشية للشمس . وعلى ذلك تعرض هذا القرص الغازى المستدير لعمليات التفتيت والتقسيم ، وتباعدت الكتل الغازية عن بعضها البعض . وتبعا للخصائص العامة للمواقع الجديدة التى احتلتها الكتل فى الفضاء الكونى تعرضت لعمليات البرودة التدريجية ، وتكونت كواكب المجموعة الشمسية . (شكل ٢٩)

ويذكر «أورى» أن أهم المواد التى تدخل فى تركيب هذه الكتل الغازية هى السليكات ، والحديد ، والمياه ، والنشادر ، وتبعا لعمليات البرودة التدريجية تكاثفت المياه وغاز النشادر بينما تتألف مركز هذه الكتل من النيكل والحديد والمواد التى لا زالت منصهرة حتى اليوم كما هو الحال بالنسبة لكوكب الأرض .

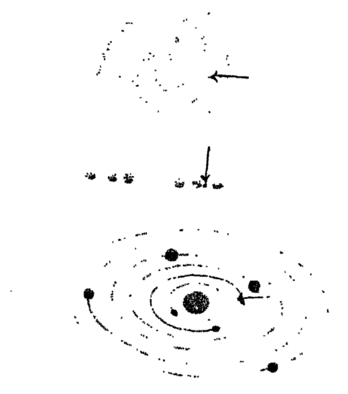
وعلى الرغم من تعدد الآراء والنظريات التى قدمت منذ بداية هذا القرن لتفسير نشأة المجموعة الشمسية ، إلا أنه كما يذكر الأستاذ سمارت W. M. Smart أننا ربما لن نعلم الطريقة الحقيقية التى تكونت بها كواكب هذه المجموعة وكيف جاءت إلى الوجود [٢] .

---

(1) Uery H. C., "The Plantes, their origin and development",. Oxford. Press,1992.

(2) Smart, W. M., "The Origin of the Earth", (1959), P.188.

"It Is quite possible that we Shall never know , beyond a shadow of a doubt, how the plantary system came into existence".



(شكل ٢٩) موقع المجموعة الشمسية فى مجرة درب التبانة

كما ذكر العالم هارولد أورى عام ١٩٥٢م ، أنه عندما يعرض باحث لنشأة الأرض وتفسير ميلادها يجد نفسه فى حاجة ماسة إلى معجزات إلهية تساهم فى هذا التفسير مهما كانت دقة المناهج العلمية التى يستعين بها .

وتجدر الإشارة فى هذا المجال إلى أن علماء الفلك والطبيعة الروس أسهموا فى مشكلة تفسير نشأة كوكب الأرض والعلاقة بينه وبين بقية كواكب المجموعة الشمسية . ومن بين هؤلاء العلماء أوتو شميت Otto Schmidt (١٨٩١ - ١٩٥٦م) الذى تقدم بنظرية فى عام ١٩٤٤م مؤداها أن

(١) حسن أبو العينين : سطح هذا الكوكب : - بيروت - ١٩٦٨ ، ص ٤٩ .

الكواكب التى تتكون منها المجموعة الشمسية قد نشأت عن سديم غازى استطاعت الشمس أن تجذبه إليها وتأسره أثناء تحركه فى الفضاء ومن هنا يتضح أوجه الاختلاف بين آراء تشمبرلين ومولتين التى ترجع تكوين المجموعة الشمسية من جسم الشمس نفسه تبعا لاقتراب نجم كبير الحجم من الشمس ، وبين آراء جيفريز وجينز والتى تتلخص نظريتهما فى تكوين المجموعة الشمسية من عمود غازى كان يحيط بقرص الشمس من قبل ، فى حين يرجع أتو شميت تكوين المجموعة الشمسية من جسم سديمى خارجى استطاعت الشمس أن تأسره من الفضاء الكونى . ويرجع شميت أن الأجسام الصلبة (نيازك) قد اتحدت وتجمعت فى مجال كتلة السديم الغازية تحت تأثير قوى الجاذبية ، فنشأ عن ذلك تكوين الكواكب المعروفة . ويعتقد صاحب هذه النظرية أن الكواكب كانت تنمو بسرعة فى البداية حينما كانت تجذب إليها النيازك بكثرة فتتساقط عليها وتتحد بها ، وفى أثناء المليونى سنة الأخيرة قل ورود النيازك إلى الأرض بدرجة كبيرة . ويعتقد « شميت » أنه قد صار إعادة توزيع كتل النيازك فى جرم الأرض وهى فى حالة ليونة دون أن تمر فى مرحلة سيولة انتقالية . ويقول « شميت » إن الأرض لم تكن على درجة كبيرة من الحرارة و قد حدث تسخين الأرض ورفع درجة حرارتها عن طريق تحلل العناصر المشعة (١) .

وعلى ذلك فإن كوكب الأرض وفقا لآراء شميت قد تكون مثل بقية كواكب المجموعة الشمسية نتيجة لتجمع الأجسام الصلبة الصغيرة من كتل السديم . وقد كانت هذه العملية فى بادىء الأمر عاصفة عارمة إلا أنها أخذت فى الضعف بعد ذلك نتيجة لقلة الأجسام الصلبة داخل كتل السديم . وربما تعرضت عملية تجمع الأجسام الصلبة وتكوين الكواكب خلال مراحل ما لفترة من الهدوء إلا أنها قد تظهر من جديد عندما يتجدد نشاط تساقط الأجسام الصلبة من كتل السديم (١) .

وتبعا لرأى شميت فإن الشمس أقدم عمرا من بقية كواكب المجموعة الأخرى . هذا بخلاف اراء كانت ولابلاس وبعض الفلكيين الآخرين الذين

---

(١) حسن أبو العينين « سطح هذا الكوكب » - بيروت ١٩٦٨ ، ص ٤٩ .

(٢) أتو شميت « نظرية فى أصل الأرض » ترجمة مجدى ناصف ، مراجعة الدكتور فائق فريد - القاهرة - ١٩٦٩م - ص ٣١ .

أوضحوا أن الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية تكونت خلال مرحلة واحدة ومن مادة واحدة .

ولقد أمكن لهذه النظرية أن تفسر بعض الظاهرات الخاصة بالمجموعات الشمسية كالمدارات الدائرية ودوران الكواكب ، والقوانين التى تحكم المسافات بين مختلف الكواكب ، وتقسيم الكواكب إلى مجموعتين : مجموعة من الكواكب الكبيرة الحجم وأخرى من الكواكب الصغيرة الحجم من مثل طابع الأرض .

يتضح مما سبق أن الإنسان منذ يوم ظهوره على سطح الكوكب ، وبما أنعم الله عليه من نعمة العقل المفكر ، أخذ يبحث بحثاً دؤوبا فى قضيتين كبيرتين هما قضية نشأة الكون ونظام الحركة فيه ، وقضية نشأة الكائنات الحية بما فيها الإنسان نفسه ـ وبداية ظهورها على سطح الأرض . وفيما يتعلق بنشأة الكون اقترح الإنسان على مر الأزمان بضع عشرات من النظريات والمقترحات التى حاولت جاهدة البحث عن الحقيقة والوصول إليها . وتختلف النظريات وتتطور وتتجدد من عصر إلى عصر مع تقدم العلوم والتكنولوجيا واتساع الآفاق والمعرفة . فالنظريات المادية الطبيعية وآراء المدارس الفكرية الإيلية والفيثاغورية والتصورات العقلية فى نشأة الكون أيام الإغريق تختلف عن مفاهيم تلك النظريات الأخرى التى تقترح أن الأرض هى التى فى مركز المجموعة الشمسية أو أن الشمس هى كذلك ، أو نظرية الجاذبية لنيوتن . ومنذ القرن الثامن عشر حتى الوقت الحاضر اقترح العلماء بضع عشرات أخرى من النظريات التى حاولت بدورها تفسير نشأة الكون فى ضوء ما توصلت إليه العلوم الحديثة فى الفلك والطبيعة والكيمياء والجيولوجيا والجغرافيا من نتائج وقوانين . ونستخلص من ذلك كله أن كل ما ذكره العلماء فى هذا الشأن منذ ميلاد الإنسان وحتى اليوم هو عبارة عن افتراضات ظنية لا تدعمها أدلة يقينية . وعجز الإنسان تماماً ، بل وسيظل عاجزاً ، عن معرفة نشأة أى عنصر من عناصر الكون مهما تقدم العلم ، ذلك لأن العلم البشرى هو نتاج التفكير العقلى للإنسان وهو تفكير له حدوده وأبعاده فى المحيط الذى يعيش فيه

الإنسان الا وهو كوكب الأرض . ومن هنا كانت القوانين العلمية التى توصل الإنسان إليها هى فى حدود طاقته الفكرية وما أتيح له أن يتعلمه فى البيئة التى يعيش فيها . فقوانين السرعة والمسافة والزمن والكثافة والتوازن عرفها الإنسان وتوصل إليها من خلال تجاربه العملية ومشاهداته الحقلية فى نطاق ضيق وأفق محدود .

الزمن الفلكى لميلاد كوكب الأرض :

لا تقاس الفترة الزمنية التى ولد فيها كوكب الأرض بالمقاييس الزمنية الجيولوجية بل تبعا لطولها الكبير فإنها تقدر بالمقاييس الفلكية . وتبعا للدراسات الحديثة لحساب كمية النشاط الإشعاعى التى تنبعث من الشمس والعلاقة بينها وبين بقية كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها رجح العلماء أن عمر كوكب الأرض يبلغ نحو ٦ بليون سنة . وقد استنتج العلماء الزمن البعيد الذى تكونت إبانة قشرة الأرض الخارجية باستخدام الساعة الذرية The Atomic Clock فى قراءة تأثير فعل العناصر الطبيعية المشعة مثل اليورانيوم Uranium والثوريوم Thorium والرابيديوم Rabi-dimm والبوتاسيوم Potassium . فقد تبين أن هذه العناصر تتحلل تلقائيا فى الصخور القديمة بدرجات متفاوتة وينجم عنها نشوء عناصر أخرى وبتحليل مثل هذه المعادن وايجاد النسبة بين اليورانيوم الموجود فى الصخر مثلا والرصاص الذى ينتج عادة عن انشطار اليورانيوم ، فإنه يمكن الوصول الى معرفة الزمن الذى تكون الصخر خلاله . وبواسطة هذه الطريقة قدر العلماء العمر الجيولوجى لبعض صخور حقب ما قبل الكمبرى من عدة مناطق مختلفة ،حيث تكون بعضها منذ نحو ١٨٥٠ مليون سنة كما تبين لهم أن عمر صخور الجرانيت Shap granit فى منطقة ليك ديستريكت Lake District بانجلترا على اساس حساب كمية البوتاسيوم الممثلة فى الصخور ، يتراوح من ٩٠ إلى ٣٨٠ مليون سنة . واكدت نتائج دراسات علم الطبقات صحة هذا التقدير . أما الصخور المتحولة فى شرق الولايات المتحدة الامريكية والتى تحتوى على معادن الزركون فتبين للعلماء أن عمرها يبلغ نحو ١١٠٠ مليون سنة ، بينما تلك تحتوى على معادن البيوتيت Biotit (الميكا السوداء) يعود عمرها إلى

نحو ٣٠٠ مليون سنة . وعلى ذلك يمكن القول أن القشرة الخارجية لكوكب الأرض تكونت منذ نحو ٤٠٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ مليون سنة على الأقل (١).

---

(١) د. حسن أبو العينين ، الألواح الجيولوجية ... ، كتاب مترجم - جامعة الكويت (١٩٨٨) .

الفصل الثالث

الأغلفة الكبرى التى يتألف منها كوكب الأرض

يشبه كوكب الأرض شكل البرتقالة اكثر من شكل الكرة التامة الاستدارة والمتساوية الأقطار ذلك لأنه منبعج نسبيا عند المناطق الاستوائية ، وشبه مفلطح الشكل بالمناطق القطبية ، ويبلغ طول القطر القطبى للأرض نحو ٧٩٠٠ ميل (١٢٦٤٠كم) فى حين يزيد طول القطر الاستوائى عن القطر القطبى بنحو ٢٧ ميلا (٤٣ كم) . وعلى ذلك يبلغ طول المحيط القطبى للأرض نحو ٢٤,٨٦٠ ميل فى حين يبلغ طول المحيط الاستوائى للأرض نحو ٢٤,٩٠٢ ميل . ولكن يجب أن نضع فى الإعتبار بأن انبعاج الأرض بالمناطق الاستوائية منها ليس بظاهرة بارزة ، ذلك لأنه لو قدرنا أن الكرة الأرضية صارت كرة طول قطرها خمسة أقدام فإن طول القطر الاستوائى تبعا لعملية الانبعاج لا يزيد عن ٠,١ من البوصة . ويعزى سبب اختلاف طول القطرين الاستوائى والقطبى للأرض الى أثر فعل عملية دوران الأرض حول نفسها ، وما ينجم عن ذلك من تكوين قوة الطرد المركزية . وقد اعتقد بعض الباحثين بأنه لا يحدث فى الوقت الحاضر أى زيادة تدريجية فى طول القطر الاستوائى للأرض ، ومن ثم فإن سبب تلك الزيادة التى أدت الى انبعاج المناطق الاستوائية من الأرض ترجع الى فترة نشأتها الأولى الى انبعاج المناطق الاستوائية من الأرض ترجع الى فترة نشأتها الأولى عندما كانت صخور الأرض من اللزوجة بحيث تساعد على حدوث انبعاج المواد التى تتألف منها فى المناطق الاستوائية .

وقد ساعدت عملية دوران كوكب الأرض حول محوره واستمرار برودته التدريجية على ترتيب كثافة المواد التى يتألف منها وتنظيم نطاقاتها المتتابعة داخل الأرض ، وهكذا تجمعت المواد الثقيلة الوزن العالية الكثافة صوب مركز الأرض ، واحتلت المواد الخفيفة الوزن ، القليلة الكثافة الأجزاء العليا من كوكب الأرض . هذا الى جانب تعرض الأجزاء العليا من كوكب الأرض الى عمليات البرودة التدريجية والتى أدت فى النهاية الى تكوين

الغلاف الصخرى .

ويمثل اليابس جزءاً محدودا من سطح هذا الكوكب ، إذ تقدر نسبة مساحته بنحو ٢٩ ٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . كما أنه لا يمكن أن نفصل سطح هذا الكوكب (الذى يمثل أعالى القشرة الخارجية للأرض) عن بقية أغلفة الكرة الأرضية ، ذلك لأنه يتأثر بالحركات التكتونية التى تؤدى الى رفع أو هبوط أجزاء من القشرة الأرضية ، وبفعل النشاطات البركانية التى تحدث فى باطن الأرض قد تظهر لوافظها ومصهوراتها فوق سطح الأرض كما تتشكل ظواهر سطح الأرض التضاريسية وأقاليمه المناخية وغطاءاته النباتية ، بل والنشاط البشرى كذلك بمؤثرات الغلاف الجوى الذى يحيط بكوكب الأرض . ومن ثم يمكن أن نحدد النطاقات أو الأغلفة الكبرى التى يتألف منها كوكب الأرض عامة ويتشكل بها سطحه خاصة فيما يلى [1] :

(١) الغلاف الجوى The Atmosphere

(٢) الغلاف المائى The Hydrosphere

(٣) الغلاف الصخرى The Lithosphere

(١) الغلاف الجوى

يعد الغلاف الجوى أكبر سمكا من الغلاف الصخرى لقشرة الأرض ، فبينما يبلغ متوسط سمك هذا الغلاف نحو ٢٠٠ ميل ، لا يزيد سمك الغلاف الصخرى عن ٤٥ ميلا . وقد تكون الغلاف الغازى عند بداية نشأته بفعل الغازات والأبخرة التى تكونت حول كوكب الأرض أثناء عملية برودته التدريجية . وأخذ ينساب الى الغلاف الجوى خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل لقشرة الأرض كميات كبيرة من الغازات والأتربة المنبثقة مع المصهورات البركانية . هذا الى جانب كميات كبيرة من بخار الماء تتمثل فى الأجزاء السفلى من الغلاف الجوى وتعزى الى أثر تعرض

(١) يمكن اضافة الغطاءات النباتية الطبيعية والحيوانات البرية كغلاف خاص الى جانب هذه المجموعة ويعرف هذا الغطاء الأخير باسم الغلاف الحيوى .

المسطحات المائية فوق سطح الأرض لعمليات التبخر الشديدة . ومن ثم يتركب الغلاف الجوى من العناصر الآتية :

١ - الغازات الأولية التى بقيت فوق القشرة الأرضية ، إبان مراحل تكوينها على شكل نطاق غازى هائل الحجم يحيط بها .

٢ - الغازات التى قد تندفع من باطن الأرض الى السطح خلال فتحات الفوالق والشقوق وفوهات البراكين والنافورات الحارة .

٣ - الغازات الناجمة عن تعرض المسطحات المائية لفعل الاشعاع الشمسى والتبخر .

٤ - الأتربة والرمال الدقيقة الحجم والعالقة بالجو تبعا لحدوث الرياح والعواصف المحلية المحملة بالأتربة .

٥ - الأتربة البركانية الدقيقة الحجم ، وبقايا مواد الشهب والنيازك التى تحترق فى طبقات الجو العليا .

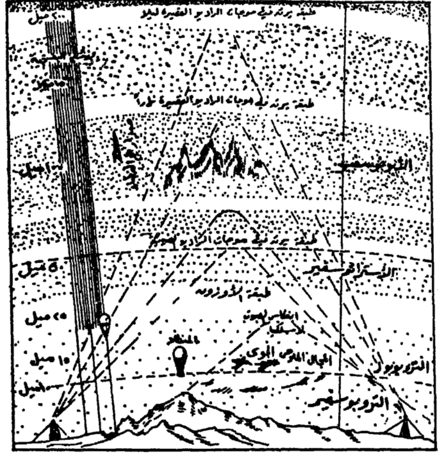
٦ - الأتربة وكتل الدخان التى تتجمع عادة فوق مداخن المدن الصناعية الكبرى وتؤثر هذه الأتربة والغازات الأخيرة فى تشكيل عناصر مناخ وطقس المدن الصناعية من ناحية ، وعلى الاحوال الصحية لسكان هذه المدن من ناحية أخرى .

ويتألف الغلاف الجوى أساسات من غازات أهمها جميعا النيروجين والأوكسجين حيث تبلغ نسبتهما بالغلاف الجوى (دون حساب بخار الماء) حوالى ٩٩ ٪ من جملة الغازات الممثلة فيه . فى حين تمثل بقية الغازات الأخرى بالغلاف الجوى حوالى ١ ٪ من حجمه ، ومع ذلك تبين بأن لهذه الغازات المحدودة الكمية أثرا كبيرا فى تشكيل الاضطرابات والعمليات المختلفة التى تحدث فى الطبقات الجوية . ويمثل النيتروجين حوالى ٧٨,٠٣٪ من جملة التركيب العام للغلاف الجوى فى حين يمثل الأوكسجين حوالى ٢٠,٩٩ ٪ ، والأرجون ٠,٩٤ ٪ ، وثانى أكسيد الكربون ٠,٠٣ ٪ الأيدروجين ٠,٠١ ٪ .

وقد تبين بأنه على الرغم من أن نسبة بعض الغازات قد ترتفع فى الغلاف الجوى فوق مناطق محلية خاصة كما هو الحال فوق مناطق فوهات المداخن بالمدن الصناعية وفوق فوهات البراكين ، وأسطح الشقوق والنافورات التى ينبثق منها غازات باطنية ، إلا أن الغلاف الجوى يتميز بتجانس تركيبه العام . وقد يعزى هذا التجانس الى أثر فعل الرياح من ناحية وطبيعة امتزاج الغازات فيما بينها وصعودها إلى أعلى فى ضوء تباين كثافتها إلى الطبقات العليا من ناحية أخرى ، ومن ثم تستقر الغازات الخفيفة الوزن جدا بطبقات الجو العليا ، وقدر بعض الباحثين بأن نسبة ثانى اكسيد الكربون قد ارتفعت فى الغلاف الجوى الحالى (وخاصة بالقرب من سطح الأرض) بنحو ١٠٪ عما كان عليه خلال القرن التاسع عشر . ويعزى ذلك الى تلوث الهواء بفعل غازات ومداخن المصانع واحتراق مواد الوقود وانسياب بقاياها فى الجو . وتبعا لاختلاف الخصائص العامة لاجزاء الغلاف الجوى وتنوع الغازات فيه من ارتفاع الى أخر أمكن تصنيفه الى ثلاث طبقات رئيسية هى :

(أ) طبقة التروبوسفير :

ويقصد بها الطبقة السفلى من الغلاف الجوى والتى تنحصر فيما بين ارتفاع ٥ الى ١٠ أميال من سطح الأرض ، وتنخفض درجة الحرارة بهذه الطبقة بمعدل ٣,٥° ف لكل ١٠٠ قدم . (حيث تتشكل الحرارة فى هذا النطاق بفعل الاشعاع الأرضى) . ويتميز التركيب الغازى لهذه الطبقة بتجانسه من جزء الى أخر ، وتعزى التغيرات اليومية فى حالات الطقس فوق سطح الأرض الى ما يحدث أساسا فى هذه الطبقة . وتضم طبقة التروبوسفير كل بخار الماء الذى يتمثل فى الغلاف الجوى ، كما تشتمل على السحب ، وعلى أكثر من ٩٠٪ من حجم الكتل الهوائية . ويتجمع فى هذه الطبقة كذلك جميع غاز ثانى اكسيد الكربون الممثل فى الغلاف الجوى . وتعرف الأجزاء العليا من طبقة التروبوسفير باسم طبقة التروبوبوز Tropopause حيث تتميز هذه الطبقة الأخيرة بندرة وجود بخار الماء وثانى اكسيد الكربون من ناحية وتاثرها البسيط جدا بالاشعاع الأرضى من ناحية أخرى . شكل (٣٠) .



شكل (٣٠) الخصائص العامة للغلاف الجوى

(ب) طبقة الاستراتوسفير : Stratosphere

سميت هذه الطبقة بتلك التسمية تبعا لتجانس درجة حرارة الهواء بها ، كما أنها تخلو تماما من حدوث العواصف والأعاصير داخل نطاقها . وتتميز المناطق الحدية فيما بين طبقة التروبوبوز والاستراتوسفير ببرودتها لندرة وصول تأثير الاشعاع الأرضى الى تلك المناطق البعيدة من الغلاف الجوى ، وقد تبين بأنه على ارتفاع عشرة أميال فوق المناطق الاستوائية ، وسبعة أميال فوق مناطق العروض المعتدلة ، وخمسة أميال فوق المناطق القطبية لا يظهر تأثير الإشعاع الأرضى .

وتمتد طبقة الاستراتوسفير فيما بين ارتفاع ٣٠ إلى ٥٠ ميل فوق سطح الأرض . ويبلغ الضغط الجوى بأعلى هذه الطبقة نحو ٠,٥ ملم

(يبلغ الضغط الجوى عند مستوى سطح البحر نحو ٦٧٠ ملم) ومعنى هذا أنه يتمثل بتلك الطبقة أقل $\frac{١}{١٠٠٠}$ من حجم الغلاف الجوى . ومن ثم أصبح من الصعب جدا أن تخترق الطائرات هذا المجال الجوى البعيد ويحتوى القسم الأسفل من الاستراتوسفير على غازات مهمة تكون طبقة الأوزون التى تحمى سطح الأرض من تساقط الأشعة فوق البنفسجية وتستغل هذه الطبقة فى عمليات أرسال الموجات الصوتية الطويلة لأجهزة الراديو خلال نطاقها .

(جـ) طبقة الأيونوسفير :Ionosphere

وتمثل الغطاء الخارجى الأعلى لطبقة الغلاف الجوى وتمتد فيما بين ارتفاع ٥٠ الى ٢٠٠ ميل فوق سطح الأرض . وتستخدم هذه الطبقة عند ارسال الموجات الصوتية القصيرة لأجهزة الراديو من محطة ما ، واستقبالها بمحطة أخرى . لكن يختلف انعكاس الموجات الصوتية القصيرة بتلك الطبقة من وقت الى آخر (فيما بين الليل والنهار) وتبعا لمدى الارتفاع عن سطح الأرض . وكثيرا ما يحدث فى هذه الطبقة توهج الشهب والنيازك واحتراقها خلال عبورها طبقات الأيونوسفير . وقد تمكنت الصواريخ الصناعية الحديثة من عبورها هذه الطبقة والوصول الى الفضاء الخارجى .

ويتميز الغلاف الجوى بأنه نطاق غير مستقر ، بل هو دائم الحركة والنشاط من لحظة إلى أخرى . وينجم عن حركته هذه تشكيله بعناصر مختلفة فيه (تتمثل فى الحرارة والضغط والرياح والأمطار والثلج والبرد) تعمل بدورها على تعديل الخصائص الطبيعية للجو من مكان الى آخر .

ويعتبر الجو من أهم العوامل التى تؤثر فى تشكيل مظهر سطح الأرض وظواهره ، حيث يؤثر كيميائيا وميكانيكيا فى الصخور . وقد ينجم عن فعل التجوية الكيميائية تشكيل صلابة بعض الصخور وتحلل بعضها الآخر بواسطة التفاعلات الكيميائية التى تحدث فيها . وأظهر مثال

على ذلك تكوين غطاءات التربة التى تعلو معظم صخور سطح الأرض بفعل التحلل والتفتت الصخرى .

وفى حالة حركة الهواء تتكون الرياح التى تعد بدورها من بين أهم العوامل التى تشكل ظواهر السطح وتقوم بعمليات النقل والنحت والارساب . ويشتد فعل الرياح خاصة فى المناطق الجافة والتى تتميز بخلو أسطحها من الغطاءات النباتية وذلك مثل مناطق الصحارى الحارة الجافة . وعندما يتعرض بخار الماء فى الجو الى التكاثف قد تتكون الأمطار أو تسقط الثلوج . وقد ينجم عن سقوط الامطار الغزيرة وانصهار بعض الثلج فوق سطح الأرض تكوين المجارى النهرية والسيول والبحيرات والثلاجات ، وهذه بدورها تشكل مظاهر سطح الأرض وتعمل على تنوع ظواهره من إقليم الى آخر حسب ظروفه المناخية وعوامل التعرية التى يتشكل مدى فعلها تبعا لتلك الظروف .

ويمثل الغلاف الجوى كذلك الغطاء الحرارى الملطف لكوكب الأرض . فلولا وجود الغلاف الجوى محيطا بالكرة الأرضية لسقطت أشعة الشمس على سطح الأرض بشدة وقوة أكبر عما هى عليه اليوم ، كما أنها سترتد بسرعة كذلك فى نفس الوقت الذى يستمد فيه سطح الأرض هذه الأشعة - وتبعا لذلك قد لا تناسب درجة حرارة الهواء حياة الانسان كما وأن المدى الحرارى الفصلى سيكون أكبر بكثير جدا عما هو عليه فى بعض أجزاء من سطح الأرض اليوم . فقد أوضحت الدراسات المناخية بأن الهواء الملامس لسطح الأرض يستمد حرارته من الإشعاع الشمسى Insolation . وأن ما يصل الى سطح الأرض من قوة حرارة الكتلة الغازية الشمسية يقدر بنحو $\frac{١}{٢٠٠}$ مليون منها وقدر كذلك بأن ما تفقده الأشعة الشمسية فى الجو (قبل وصولها الى سطح الأرض) نحو ٣٤٪ من كميتها تبعا لانعكاسات هذه الأشعة أثناء عبورها طبقات الجو العليا ، كما تمتص المواد العالقة بالجو منها نحو ١٩٪ ومن ثم فإن نصيب سطح الأرض نحو ٤٧٪ من جملة الأشعة الشمسية . وإذا علمنا بأن الغلاف الصخرى يمتص هو الآخر ٥٪ من الأشعة الشمسية الساقطة فوق سطحه ، على ذلك يرتد الى الهواء

الملامس لسطح الأرض بقية الأشعة والتى تقدر بنحو ٤٢٪ فقط من كمية الأشعة الشمسية . وتعرف هذه الأشعة الأخيرة باسم الإشعاع الأرضى Terrestial Radiation . وتدين مظاهر الحياة فوق سطح هذا الكوكب الى تلك الكمية من الأشعة التى تعمل على تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض وتشكيل الظروف الطبيعية والبيولوجية التى تتمثل فوق هذا السطح .

(٢) الغلاف المائى

لا تتركب القشرة الأرضية من اليابس او القارات فقط بل يقع فوقها كذلك مساحات واسعة من المياه ، تتمثل أساسا فى مياه البحار والمحيطات والبحيرات ، يطلق عليها تعبير الغلاف المائى . وقد دلت الدراسات الأوقيانوغرافية على أن المسطحات المائية تشغل مساحة تبلغ نحو ٧٠,٨٠٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية ، ومن ثم لا تزيد مساحة اليابس عن ٢٩,٢٠٪ من جملة مساحة سطح الأرض التى تقدر بنحو ٥١٠ مليون كم٢ (١) . وعلى الرغم من اتساع مساحة المسطحات المائية إلا أن حجمها لا يزيد عن $\frac{١}{٤٩٥٠}$ من حجم الأرض .ومع ذلك فإن للغلاف المائى دوه المهم فى تشكيل مظاهر سطح الأرض المختلفة ، وتمثل مياه البحار والمحيطات اكثر من ٩٨٪ من جملة حجم الغلاف المائى . وتدخل دراسته ضمن علم البحار والمحيطات وافرعه المختلفة (٢) .

والى وقت قريب ظل العلماء يعتقدون بأن البحار والمحيطات كانت تشغل فى الماضى خلال العصور الجيولوجية نفس الأبعاد التى تشغلها فى الوقت الحاضر ، وأن التغيرات بين كل من المسطحات المائية وأجزاء اليابس والتى كانت تحدث بجوار خط الساحل ما هى إلا تعديلات ثانوية

(1) Chamberlin, T. G., and Salisbury, R. S., A " Geology" London, (1908), p.7.

(٢)حسن أبو العينين (أصول الجيومورفولوجيا) الاسكندرية ـ الطبعة الحادية عشرة (١٩٩٥) .

حسن أبو العينين (دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات) بيروت ١٩٧٦.
الطبعة التاسعة ـ الأسكندرية (١٩٩٦).

محلية ، وقد اكد بعض الباحثين كذلك بأن هناك بعض التغيرات تحدث فى قاع المحيط نفسه ، كما هو الحال عند حدوث حركات التصدع الكبرى فى قاع المحيط أو انخفاضات أرضية أو ارتفاع نطاقات طولية كبرى من أراضيه على شكل سلاسل جبلية بحرية ، تؤثر بدورها فى تذبذب مستوى سطح البحر العام .

وقد تضاربت اراء الباحثين حول تفسير نشأة الغلاف المائى أو بمعنى آخر كيفية تكوين مياه البحار والمحيطات ، ثم مدى اختلاف حجم هذه المياه من عصر جيولوجى الى آخر . وتبعا لتقدير كينن Kuenen فى عام ١٩٥٠ (١) يبلغ حجم مياه البحار والمحيطات فى الوقت الحاضر نحو ١٣٧٠×١٠^٦ كيلو متر مكعب أى نحو ١,٣٧ بليون كم٣ ، وتقدر نسبة الأملاح فيها بنحو ٣٪ من حجم المياه .

وقد اعتقد بعض الباحثين أن مصدر هذه الكمية الهائلة من المياه تعزى الى كمية التساقط المتلاحقة فوق سطح الأرض بالاضافة الى انصهار الجليد وما تصبه المجارى النهرية من مياه فى الاحواض البحرية . ولكن يتضح أن هذه المياه بأشكالها المختلفة كانت فى وقت ما جزءا من مياه المحيط ثم تعرضت للتبخر والتكاثف وعادت ثانية الى المحيط نفسه على شكل أمطار ساقطة أو مياه منصهره من الثلوج . وقد أوضحت الدراسات المتيورولوجية كذلك بأنه إذا تعرض كل نطاق الغلاف الجوى الذى يحيط بالكرة الأرضية اليوم للتكاثف التام فلا يمكن أن يحتوى على أكثر من ١٣,٠٠٠ مليون متر مكعب من المياه . كما اكد وليم رابى W. Rabey أن نسبة المياه التى اضافها الغلاف الجوى الأولى الذى تكون مع بداية ميلاد الكرة الأرضية تمثل نحو ١٠٪ فقط من مجموع حجم مياه البحار والمحيطات .

وعلى ذلك ظهر فى الأفق نظريات جديدة تؤكد أن المصدر الأساسى لمياه البحار والمحيطات هو المياه الأوليه Junvenile Water والتى يقصد بها

---

(1) Kuenen. P. H. " Marine geologe" , Wiley, N. Y. (1950).

تلك المياه التى تظهر لأول مرة على سطح الأرض أو فى قاع المحيط والتى مصدرها باطن الأرض نفسه أو مع إنبثاق المصهورات و الصخور البركانية التى كانت تقذف مع انبثاق المصهورات البركانية وتكوين السدود والعروق البركانية . وأوضح ويلسون T. Wilson بناء على ذلك أن كلا من نشأة الغلاف الجوى والمسطحات المائية والقشرة الأرضية ترجع الى مصدر واحد هو ظهور الصخور الساخنة على سطح كوكب الأرض عند بداية نشأة الأرض ، ثم النشاط البركانى والثورانات الأرضية الباطنية الكبرى التى صاحبت مراحل تكوين قشرة الأرض خلال تاريخها الجيولوجى الطويل .

وأكد فينر Fenner.1926 (١) وزيس Zies:1926 (٢) عند دراستهما للمصهورات البركانية بإقليم كتماى Katmai بألسكا . أن نسبة كبيرة من الكلوريد Chlorides والفلوريد Fluorides ممتزجة مع مواد كبريتية بالإضافة الى بخار الماء تنبثق جميعا مع المصهورات البركانية . وقد تعزى النسبة العالية من أيونات الكلوريد فى مياه البحار الى حدوث المصهورات البركانية فوق أرضية البحار والمحيطات .

وقد بدأت مياه البحار تتجمع فى المنخفضات المحيطية الكبرى منذ بداية تعرض الصخور الساخنة اللزجة لقشرة الأرض لعمليات التبريد المستمرة . وحيث تبلغ مساحة أرض اليابس نحو ١٥٠ مليون كم٢ وأن متوسط سمك قشرة اليابس نحو ٣٣كم ، فإن حجم كتلة اليابس تبلغ نحو بليون كم٢ . أما قشرة الأرض أسفل المحيطات فهى أقل سمكا حيث أن متوسط سمكها نحو ٥كم وتغطى مساحة تبلغ نحو ٣٦٠مليون كم٢ ، وعلى ذلك فإن حجم كتلة الأرض أسفل المحيطات تبلغ نحو ٢ بليون كم٢ . أما الحجم الاجمالى لكتلة قشرة الأرض فيبلغ نحو ٨ بليون كم٣ . وحسب دراسات جورانسون Goranson:1931 (٣) الذى أوضح أن متوسط

(1) Fenner, C. N., in Journal of Geololgy , vol. 34, (1926),673-762

(2) Zies E. G., in National Geographical Magazine vol.(4)(1929)61-79.

(3) Gorason, R. W., in The American Jour of Science, vol.5,(1931)448-502.

نسبة حجم المياه الأولية التى تنساب مع الثورانات البركانية تبلغ نحو ٥٪ من جملة حجم المصهورات ، على ذلك فإن قشرة الأرض الخارجية كلها تحتوى على كمية من المياه الأولية تبلغ نحو ٠,٤ بليون كم٣ من المياه . بينما حجم مياه البحار فى الواقع هو ١,٣ بليون كم٣ .

ولهذا رجح الباحثون كذلك انه الى جانب المياه الأولية التى تكثف من صخور قشرة الأرض الساخنة إبان فترة برودتها الأولى ، أضيفت الى المسطحات البحرية مياه أولية أخرى مصدرها الباطن العميق للأرض ، وذلك مع انبثاقات المصهورات البركانية الكبرى . وقدر جورانسون أن متوسط حجم الانبثاقات البركانية السنوية فوق سطح القشرة الأرضية يبلغ نحو ٢كم٣ . وعلى أساس أن نحو ٥٪ من هذا الحجم يمثل مياه أولية فإن المسطحات المائية يزداد حجمها بمتوسط سنوى يبلغ نحو ٠,١كم٣ من المياه . وإذا قدرنا أن عمر التكوينات الصخرية لسطح الأرض من العصر الكمبرى حتى الوقت الحاضر بحوالى ٦٠٠ مليون سنة فإن حجم المياه فى المحيطات زادت خلال الفترة الجيولوجية بمقدار ٦×١٠^٦ كم٣ (٦٠ مليون كيلو متر مكعب) . [١]

ويتضح أن هذه الكمية بسيطة جدا كذلك إذا ما قورنت بالحجم الهائل لمياه البحار ، ولذا يجب أن نضع فى الاعتبار اختلاف شدة الثورانات البركانية وتنوع قوة نشاطها خلال العصور الجيولوجية المختلة . فقد تبين أن هناك عصورا جيولوجية تميزت بنشاط بركانى أقوى مما هو عليه اليوم ، بينما هناك كذلك عصور جيولوجية أخرى انخمد فيها النشاط البركانى لفترة طويلة من الزمن . وقد أكد الباحث تونهوفل Iowen hofel بأن كمية المياه فى المحيطات أزدادت تدريجيا باستمرار على طول فترات العصور الجيولوجية المتعاقبة وأن هذه الزيادة تختلف كذلك من عصر الى عصر آخر تبعا الكيفية حدوث الثورنات البركانية والحركات التكتونية ، التى انتابت صخور قشرة الأرض من زمن جيولوجى الى آخر . وقد

(1) king C . A . M ."Oceanography for geographers". London (1962)71-23.

استنتج أن مياه البحار والمحيطات قد زاد حجمها خلال فترات الحركات التكتونية الكبرى ، وخاصة الحركات الكارنية والكاليدونية والهرسينية (١) .وقد حسب ادموند هالى Edmund Hally فى عام ١٧١٥ ، كمية الاملاح التى تصبها الأنهار فى البحار ، أملا أن يحدد الزمن الذى تكونت فيه مياه البحر . وقد عدل فى هذه الآراء كل من جولى Joly وكلارك E W. Clarke ، وقد تبين من نتائج الدراسات الحديثة أن كمية الصوديوم فى البحار قد تجمعت خلال ١٠٠ مليون سنة فقط (نهاية الزمن الجيولوجى الثانى وبداية الزمن الثالث) . ولكن هذه النتائج لا تدل على الواقع ، حيث عثر الباحثون على كائنات بحرية أولية ترجع الى عصر الكمبرى وما قبله (٦٠٠ مليون سنة) ، وعلى ذلك فإن الزمن الذى تكونت فيه الأحواض البحرية وكذلك مياهها أقدم من عمر الكائنات البحرية التى كانت تعيش فى هذه المياه . وأوضح فون أركس Von Arx.1962 (١) . أن مياه البحار كانت مالحة كذلك منذ العصر السيلورى الأعلى على الأقل (منذ ٤٤٠ مليون سنة) حيث عثر فى صخور هذا العصر على طبقات ارسابية ملحية بحرية .

وتقدر المساحة الاجمالية للمسطحات المائية على وجه القشرة الأرضية بنحو ١٤٣,٢٥٦,٣٠٠ ميلا مربعا . ولكن تشمل هذه المساحة اجزاء ضحلة واسعة لا تعدُ ضمنا من المحيطات الحقيقية بل هى أقرب الى القارات منها الى البحر . وهى التى يطلق عليها تعبير الرفارف القارية Continental Shelves ويبلغ متوسط مساحتها نحو ١٠,٠٠٠,٠٠٠ ميلا مربعا (٢) . فإذا اسقطنا هذه المساحة الأخيرة من المساحة الإجمالية للمسطحات المائية ،

---

(1) Von Arx, W.S., "An Introduction to physical oceanography". London, (1962),P.32.

(٢) أطلق بعض الباحثين على الرفارف القارية تعبير الأرصفة القارية ولكن كلمة رصيف تختلط مع تعبير الأرصفة أو السهول التحاتية البحرية marine platforms ومن ثم يحسن استخدام تعبير الرفارف القارية ومعناها أطراف أو هوامش القارات . والمفرد ، رفرف .

(3) Chamberlin, T. C, and Salisbury, R. D, "Geology..."London, 1909 P.11.

فإن مساحة الأخيرة تبلغ نحو ١٣٣,٠٠٠,٠٠٠ ميلا مربعا [٣] . ومن ثم يمكن القول إذا انخفض مستوى سطح البحر الحالى بنحو ٦٠٠ قدما وانحصر عن المياه الحالية التى تشغلها الرفارف القارية ، فإن المياه الباقية فى أحواض المحيطات التى تشغلها الرفارف القارية ، فإن المياه الباقية فى أحواض المحيطات هى التى تمثل الأحواض المحيطية الحقيقية True Ocean-ic basins كما لا تتساوى هذه الأحواض الأخيرة من حيث العمق ، بل تختلف من مكان إلى آخر . ويمكن القول أن اختلاف نسبة مساحة المسطحات المائية تبعا لاختلاف أعماقها هى كما يلى [١] :

الأعماق بالأقدام	مساحتها بالنسبة لمساحة الأحواض المحيطية الحقيقية
٦٠٠ ـ ١٢٠٠٠	٪٢٠
١٢٠٠٠ ـ ١٨٠٠٠	٪٥٣
١٨٠٠٠ ـ ٣٠٠٠٠	٪٤

هذا ويدخل فى تركيب مياه البحار والمحيطات بعض المواد والأملاح الذائبة التى تعمل على تشكيل الخصائص الطبيعية لمياه البحار . وقد قدرت نسبة الأملاح فى مياه البحار والمحيطات بنحو ٣٤,٤ فى الألف ، وتتركب هذه الاملاح بنسب متفاوتة من العناصر الآتية :

	النسبة المئوية
كلوريد الصوديوم [١]	٧٧,٧٥٨
كلوريد الماغنسيوم	١٠,٨٧٨
سلفات الماغنسيوم	٤,٧٣٧
سلفات الكالسيوم	٣,٥٠٠
سلفات البوتاسيوم	٢,٤٦٥
بروميد الماغنسيوم	٠,٢١٧
كربونات الكالسيوم	٠,٣٤٥
	١٠٠,٠٠٠

(1) Rastall, R.H.. "Textbook of geology" London, 1960.P8.
(2) Rastall, Op. Cit p.11,

والى جانب المسطحات المائية الحقيقية التى تتمثل فى البحار والمحيطات ، تنتشر فوق سطح اليابس كذلك عديد من البحيرات والمستنقعات المائية بالاضافة الى المجارى النهرية وكلها تشق صخور القشرة الأرضية وتعمل على تشكيل مظهرها وتعديله .

وعلى الرغم من تعدد العوامل التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض الا أن فعل المياه المباشر وغير المباشر يعد أهم هذه العوامل جميعا . ويتمثل فعل المياه فى العمل الذى تقوم به الامطار والأنهار والثلوج والثلاجات والأمواج والبحيرات والمياه الجوفية عند نحت الصخر وتفتيته وتحلله ، كما تقوم كذلك بنقل المفتتات الصخرية من مكان الى آخر ، وإرسابها على شكل ظاهرات أخرى جديدة فى مناطق مختلفة من سطح الأرض . أى بمعنى آخر تقوم هذه العوامل بفعل الهدم والنقل والارساب ، وتشكيل المظهر التضاريسى العام لسطح الأرض

(٣) الغلاف الصخرى

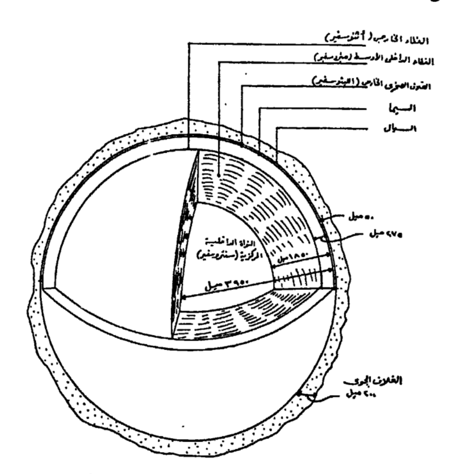
يعد الغلاف الصخرى فى الحقيقة جزءا من الأرض نفسها الا أنه الجزء الخارجى الذى يمثل سطح القشرة أو الطبقات العليا التى تتركب منها الأرض وقد ساعدت عمليات دوران الأرض حول محورها من جهة والبرودة التدريجية التى تعرضت لها من جهة أخرى على تنسيق وترتيب مواد الأرض تبعا لاختلاف كثافتها وتكوين الغلاف الصخرى الخارجى أو القشرة الأرضية الخارجية التى تتألف من صخور بردت تماما وتختلف عن المصهورات الواقعة فى باطن الأرض [١] .

ومن ثم تتركب القشرة الأرضية بدورها من طبقات صخرية تختلف من حيث كثافتها وخصائص تركيبها المعدنى . ويطلق على القشرة السطحية للأرض اسم طبقات «السيال» Sial ، ذلك لأن معادن صخورها تتركب أساسا من سليكات الألومنيوم . ويبلغ متوسط كثافتها نحو ٢,٨٠

---

(١) فيرنسيد ، و . ج ، بولمان ، ١ . م . (الجيولوجيا) . الألف كتاب (٢١٧) - ترجمة محمد ابراهيم عطية .

ويتـراوح سـمكهـا من ٢ إلى ١٥كم . ويلاحظ أن هـذه الطبقـة رقيقـة السـمك خاصة أسفل البـحار والمحيطات بل تكاد تكون معدومة بـقاع المحيط الهادى (٢) فى حين يزداد سمكها فى قارات اليابس (شكل ٣١) .



شكل (٣١) التركيب العام للغلاف الصخرى وباطن الأرض

وتقع أسـفل صــخور السيـال ، طبقات أخرى من الـصـخور أعلى كثـافة حيث تتركب من معادن ثقيلة ، ويطلق عليها اسم طبقات السيما (Sima) - سليكات الماغنسـيوم - وتزيد كـثافتـها عن ٣,٤٠ ومن الـصـعب تـحـديد عمق

---

(١) أ - حسن أبو العينين (أصول الجيومورفولوجيا) دار المعارف - الأسكندرية - ١٩٦٦ والطبعة الحادية عشرة - الأسكندرية (١٩٩٥) .

ب - حسن أبو العينين (جغرافية البحار والمحيطات) دار مكتبة الجامعة العربية - بيروت ١٩٦٧ - الطبعة التاسعة - الأسكندرية (١٩٩٦) .

السيما بدقة على الرغم من حدوث الزلازل على أعماق تبعد بنحو ٢٩٠٠ كم من سطح السيال الأرضى . ويقدر معظم الكتاب متوسط سمك القشرة الأرضية (طبقات السيال والسيما معا) بنحو ٤٥ ميلا . وتعرف هذه الطبقة الصخرية الخارجية باسم الليثوسفير Lithosphere .

ويقع أسفل القشرة الخارجية للأرض طبقة صخرية أخرى أعلى سمكا ، وتتركب من معادن وصخور أعلى كثافة وثقلا من تلك التى تتمثل فى القشرة الخارجية ، ومن ثم يطلق على هذه الطبقة اسم طبقة المانتل (Mantle) (الطبقة الغطائية الداخلية) . ويبلغ متوسط سمكها نحو ١٨٠٠ ميل ، وتتراوح كثافة المواد التى تتألف منها من ٥ إلى ٨ ومن ثم فهى تتركب من مواد معدنية ثقيلة .

الإثنوسفير : Asthenosphere

يطلق العلماء على منطقة صخور قشرة الأرض التى تقع فى القسم الأسفل من الطبقة الغطائية للأرض « المانتل Mantle » شبه المنصهرة تعبير نطاق الأثنوسفير . فى حين يطلق العلماء على نطاق قشرة الأرض الخارجية نفسه The Crust of the earth (التى تتركب هنا من نطاق من صخور السيال Sial وصخور السيما Sima) بالإضافة الى أعالى القسم الأعلى من الطبقة الغطائية للأرض (المانتيل) تعبير الغلاف الصخرى للأرض Lithosphere . ويمثل حد الموهو « الحد الموهورفيشى Mohoro-vicic discontinuity » قاعدة القشرة الصخرية للأرض حيث تصل عنده سرعة الموجات الزلزالية الى ٨,١كم / الثانية ، أما حد الأندسيت Andesite Line فهو الحد الفاصل سيزمياً بين نطاق السيال Sial ونطاق السيما Sima فى قشرة الأرض نفسها ، وتزداد سرعة الموجات الزلزالية أسفل حد الموهو وكلما اتجهنا صوب الأعماق البعيدة من الأرض . ولكن تبين أنه عند عمق ٧٠ إلى ٨٠ كم من سطح الأرض تنخفض سرعة الموجات الزلزالية نسبياً تبعاً لأنصهار مواد المانتل فى هذا النطاق والذى أطلق عليه تعبير نطاق الرهيوسفير Rheosphere .

ويتألف باطن الأرض من القلب أو الجوف المركزى Core أو ما يعرف بالنواة المركزية للأرض Centrosphere ويتركب من مواد أعلى كثافة وثقلا من تلك التى تتركب منها بقية نطاقات الأرض . ويتألف باطن الأرض من النيكل والحديد ومتوسط كثافة هذه المواد تبلغ ١١ وسمكها نحو ٤٠٠٠ ميل .

ويعد الأستاذ باريل Barrell,J.1914 هو أول من اقترح استخدام تعبير « الأثنوسفير » على أنه أحد النطاقات الرئيسية الثلاثة لجوف الأرض وذلك على أساس اختلاف صلابتها وهى :

أ- نطاق الليثوسفير Lithosphere

(النطاق الصخرى للأرض) ويبلغ سمكه نحو ١كم ويمتد فيما بين سطح الأرض حتى أعالى الغطاء الداخلى لها (المانتل) ويتميز بشدة تماسكه وصلابته Its rigidity ، وإلى الألواح الجيولوجية Geological Plates تقع أسفل هذا النطاق مباشرة

ب- نطاق الأثنوسفير Asthenosphere

وهو نطاق ضعيف نسبياً وأقل تماسكا وشبه لزج ويقع أسفل النطاق الصخرى للأرض . وحسب درجة انصهاره وخواص مواده ولزوجته فإنه يعد قابلا لكى يتشكل تحت تأثير الحركات التكتونية وانبثاق المصهورات اللافية . ومن ثم فإنه يعد مناطق نشوء الألواح الجيولوجية وميدان انسيابها وتحركها أسفل قشرة الأرض .

جـ- النطاق المركزى للأرض (جوف الأرض) Centrosphere

وهو نطاق قوى ومتماسك بصورة عامة ويقع أسفل نطاق الأثنوسفير ، ويمتد هذا النطاق حسب دراسات باريل Barrell الى جوف الأرض حتى نقطة مركزها الداخلى .

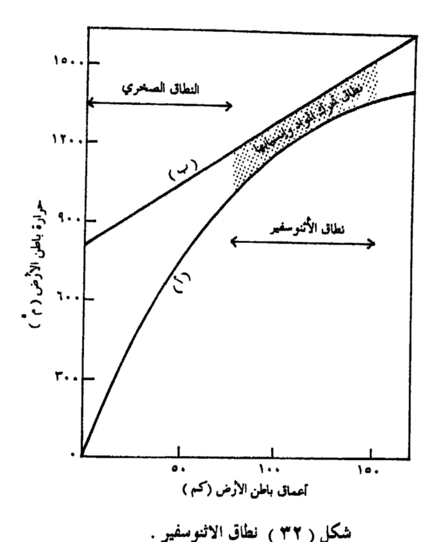
ويتوقف تحديد ابعاد كل من هذه النطاقات الثلاثة (القشرة الخارجية للأرض ، والأثنوسفير وجوف الأرض) على مدى تقدم المعلومات السيزمية التى تطرحها العلوم المختلفة وخاصة علم الزلازل

والجيوفيزيقا ، والتى تسهم فى حساب اختلاف سرعة الموجات الزلزالية فى باطن الأرض وفى معرفة التركيب الداخلى لنطاقاتها المختلفة وخواصها المعدنية والجيوفيزيقية .

خصائص الأثنوسفير الجيوديناميكية :

اعتبرت النظريات الجيوديناميكية الحديثة نطاق الأثنوسفير من بين اهم النطاقات التى تشكل المظهر التضاريسى العام لسطح الأرض وذلك تبعا لقابليته الشديدة للانسياب والتمدد . فما يحدث فى باطن الأرض من تجمع للمواد المشعة وإنصهار أجزاء من مواد باطن الأرض وصعود التيارات الحرارية الساخنة الى أعلى يؤثر بدوره فى نطاق الأثنوسفير ، وينتج عن ذلك تحرك مواده اللزجة افقياً ورأسياً ومن ثم نشوء كل الظاهرات التضاريسية الكبرى على سطح الأرض . بل تؤكد الدراسات الجيوفيزيقية كذلك بأن اختلاف مدى لزوجة مواد الأثنوسفير من زمن جيولوجى إلى آخر هى المسئولة عن تحرك الألواح الجيولوجية الواقعة فى القسم الأعلى منها ومن ثم تكوين الأخواض المحيطية وتزحزح القارات ونشوء السلاسل الجبلية الرئيسية فى القارات ، والحواجز المحيطية Sub-marine ridges فى أرضية المحيطات وذلك بفعل الألواح الجيولوجية المتقابلة Convergent plates وتلك المتباعدة Divergent plates .

وعلى ذلك تتأثر مواد الأثنوسفير بشدة الأختلافات الحرارية التى تنتابها وبتأثيرات التيارات الحرارية الساخنة الصاعدة إليها من جوف الأرض . فمن المعلوم أن الخصائص الطبيعية للمعادن تتأثر بشدة باختلاف حرارتها ، ويظهر اثر ذلك فى خصائص لزوجتها Viscosity أو تَدَبُّقُها وقابليتها للتمدد وتتقارب درجة حرارة مواد الأرض فى نطاق الأثنوسفير (حيث تزداد درجة الحرارة للمواد كلما اتجهنا صوب جوف الأرض) مع درجة حرارة إنصهار هذه المواد وقابليتها للتمدد (شكل٣٢) . وقد تصل درجة الحرارة فى بعض مواد الأثنوسفير (١٠٠٠ - ١٥٠٠م) الى الدرجة التى تنصهر فيها هذه المواد وتتحول إلى مصهورات لافى Magma



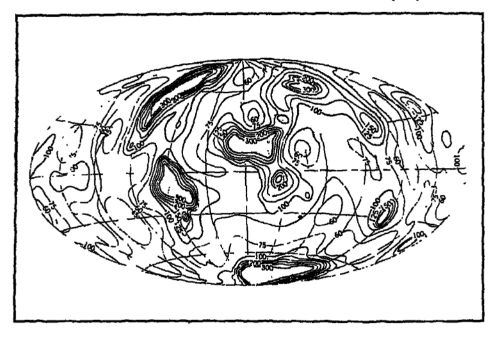
شكل (٣٢) نطاق الاثنوسفير .

شكل (٣٢) الحرارة الجوفية فى مواد قشرة الأرض وفى طبقة المانتل وعلى اساسها يتضح أعماق نطاق الأثنوسفير .

منحنى (أ) : يوضح زيادة حرارة الأرض مع الأعماق .

منحنى (ب) : يوضح الحرارة المطلوبة لكى تنصهر عندها مواد باطن الأرض وتكون نطاق الأثنوسفير .

وتتوقف درجة حرارة أى جزء من مواد باطن الأرض عند أعماقها المختلفة تبعا لعمليات صعود التيارات الحرارية الساخنة من أسفل إلى أعلى عند هذه الأجزاء . ومن ثم فإن ارتفاع أو طىّ قشرة الأرض على شكل سلاسل جبلية لا يحدث عند كل أجزاء سطح الأرض ، بل تميزت كل فترة بنائية تكتونية Orogenesis بتركز السلاسل الجبلية فى مناطق محددة تبعا لمدى تأثر هذه المناطق بفعل عمليات صعود التيارات الساخنة فى نطاق الأثنوسفير . وعلى ذلك فإن عمق نطاق الأثنوسفير ومدى بعده عن سطح الأرض يختلف إذن من موقع الى أخر ومن فترة جيولوجية إلى أخرى . ففى المناطق التى تأثر فيها نطاق الأثنوسفير بالتيارات الساخنة الصاعدة تمتد أبعاده هو الآخر الى أعلى ويقترب نسبياً من سطح الأرض ، وذلك بخلاف تلك المناطق فيه والتى تأثرت بالتيارات الهابطة الى أسفل فيصبح الأثنوسفير هنا على أعماق بعيدة من سطح الأرض كما يظهر ذلك فى شكل (٣٣) .



شكل (٣٣) أعماق نطاق الأثنوسفير ومدى بعده عن سطح الأرض (كم) تبعا لتاثيره بفعل التيارات الحرارية الصاعدة والهابطة .

ولا يؤثر اختلاف التركيب الصخرى فى اختلاف سرعة الموجات الزلزالية التى تخترق الطبقات الباطنية للأرض بل كذلك فى طبيعة المنحنى الحرارى لقشرة الأرض وباطنها . فقد تبين من الدراسات التى أجريت فى بئر كارنارفور Carnarvon فى جنوب أفريقيا ، بأن درجة الحرارة تزداد تبعا لمدى التعمق فى باطن قشرة الأرض . فمن سطح الأرض حتى عمق نصف ميل منه ، ترتفع درجة الحرارة بمعدل ١٥م لكل ٧٠ قدم . ثم من عمق نصف ميل الى عمق ميل واحد فى القشرة الأرضية ترتفع درجة الحرارة بمعدل ١٥م لكل ١٣٧ قدم . كما تبين أن درجة غليان المياه (١٠٠ْ مئوية) لا تبعد كثيرا عن سطح الأرض إذ تتمثل عند عمق ٧٢٠٠ قدم من سطح الأرض كما هو الحال فى بئر لونج بيتش Long Beach بكاليفورنيا . وعند قاع ذلك البئر (٩٠٠٠ قدم من السطح) تبلغ درجة حرارة المياه حوالى ١٢٠ْم ، فى حين قد تصل درجة حرارة اللافا المنصهرة ، والمنبثقة من باطن الأرض الى نحو ١٢٠٠ْ م .

ومن نتئج الدراسات التحليلية الكيميائية لصخور سطح الأرض تبين أن الغلاف الصخرى يتألف كيميائيا من أربعة عناصر رئيسية هى

الأكسجين	ونسبة وجوده فى الصخر	٤٦,٨ ٪
السيليكون	ونسبة وجوده فى الصخر	٢٨ ٪
الألمونيوم	ونسبة وجوده فى الصخر	٧,٥ ٪
الحديد	ونسبة وجوده فى الصخر	٤,٢ ٪

وتتمثل أهم العناصر الأخرى الثانوية فى الكالسيوم (٣,٣ ٪) ، والصوديوم (٢,٤ ٪) والبوتاسيوم (٢,٤ ٪) والماغنسيوم (٢,٢ ٪) .

وتتألف قشرة الأرض من مجموعات متنوعة من الصخور أساسها الصخور التى انبثقت من باطن الأرض وظهرت فوق السطح وأخذت تبرد بالتدريج لتكون الغطاء الصخرى الخارجي لهذا الكوكب ، وتعرف تلك الصخور باسم الصخور الأولية Primary Rocks أو الصخور النارية

Igneos Rocks ومن بينها البازلت ، والجرانيت ، والسيانيت والدولوريت . ومن تفتت الصخور النارية بعد تعرضها لعوامل التعرية ، وتبعا للارسابات المختلفة فوق البحار والمحيطات والبحيرات تتكون الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks ومن بينها الصخور الجيرية والرملية ، والطينية والغرينية . وإذا تعرضت الصخور النارية والرسوبية لفعل الضغط الشديد أو الحرارة الشديدة أو لكليهما معا فإن هذه الصخور سرعان ما تتحول الى حالة أخرى تختلف خواصها .ومميزاتها عن صورتها الأصلية ، وتعرف هنا باسم الصخور المتحولة Metamorphic Rocks ومن بين أمثلة هذه المجموعة صخر النيس Gneiss المتحول عن الجرانيت ، وصخر الشيست Schist المتحول عن الصخور الطينية والنارية والرخام Marble المتحول عن الصخور الجيرية (١) .

وعلى ذلك قد تحتوى الصخور الرسوبية وبعض من الصخور المتحولة من أصل ارسابى على حفريات الكائنات التى كانت تعيش فيها خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل . وتبعا للنتائج المستمدة من دراسة الحفريات فى الطبقات الصخرية المختلفة من القشرة الأرضية ، ومعرفة عمر هذه الطبقات كذلك بحساب النشاط الاشعاعى ، نجح العلماء فى تقسيم طبقات صخور القشرة الأرضية الى مجموعات مختلفة حسب عمرها أو الأزمنة التى تكونت فيها . ومن ثم قسم الباحثون الزمن الجيولوجى الى اقسام كبرى أطلق عليها تعبير أحقاب Eras وهذه بدورها قسمت الى اقسام ثانوية يطلق عليها عصور Periods . ويوضح الجدول الآتى أحقاب الزمن الجيولوجى لقشرة الأرض ، والعصور المختلفة التى تكون كل حقبة ، وكذلك سمك الطبقات الصخرية وطول الزمن الجيولوجى الذى شغله كل عصر (٢) ويوضح هذا الجدول كذلك الحركات التكتونية الكبرى (الكارنيه والكاليدونية والهرسينية والألبية) التى انتابت صخور القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية المختلفة .

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع الفصل الخامس من هذا الكتاب .

(2) Holmes, A., "Physical Geology", London,1950.

ويعزى حدوث الحركات التكتونية الكبرى Orgenesis إلى شدة نشاط المواد الإشعاعية المتجمعة فى باطن الأرض، فى حين يرجع الهدوء النسبى لها إلى ضعف وتدنى تجمع المواد الاشعاعية . ومن ثم نلاحظ أن فترة الهدوء التكتونى النسبى تقع دائما بين حركتين تكتونيتين عنيفتين . وليس من الصواب الاعتقاد بأن باطن الأرض يبرد بالتدريج بصورة مستمرة بل هو يبرد أو يسخن تبعاً لمدى نشاط وتجمع المواد الإشعاعية فى باطن الأرض . وإذا كان باطن الأرض يبرد بالتدريج لكان لزاماً على الحركات التكتونية الأحدث عمراً (مثل الحركة الألبية الميوسينية) أن تكون أقل قوة وتأثيراً فى تشكيل سطح الأرض عن تلك الحركات الأقدم منها عمراً (مثل الحركة الكاليدونية والحركة الهرسينية) ، إلا أن الواقع هو خلاف ذلك مما يدل على أنه ليس من الصواب الإعتقاد بأن باطن الأرض يبرد بالتدريج بصورة متتالية ومن ثم فنحن على سطح الأرض نعيش اليوم فى مرحلة هدوء تكتونى نسبى ، وقد يحدث بعد عدة ملايين من السنين ، وعند تجمع المواد المشعة فى المواد العالية الكثافة بباطن الأرض ، أن يتعرض سطح الأرض لحركة تكتونية عنيفة جديدة وهذه الحركة قد تكون أقل قوة أو أشد من تلك الحركة التى سبقتها وفقا لمدى تجمع المواد المشعة فى باطن الأرض وتبعا لتفاعل هذه المواد ومدى نشاطها . كما تبين أن المواد المشعة يزداد تجمعها فى باطن الأرض وحول مركزها بالذات مع وجود المعادن الأعلى ثقلا عن غيرها (الحديد والنيكل) ومن ثم تقل نسبة وجود هذه المواد المشعة فى القشرة الخارجية لسطح الأرض .

تقسيم الزمن الجيولوجي لقشرة الأرض الى أحقاب وعصور والحركات التكتونية الكبرى التى انتابت صخور القشرة الأرضية :

الحقب Era	العصر Period	الحركات التكتونية	سمك الطبقات آلاف الأقدام	عمر كل عصر (مليون سنة)	المجموع
الزمن الرابع	Holocene الحديث (هولوسين)		٦	١	١
(الكواتيرنرى)	Pleistocene البلايستوسين				
الزمن الثالث	Pliocene البلايوسين	الحركة	١٥	١	١١
	Miocene الميوسين	الألبية	٢١	١٤	٢٥
	Oligocene الأوليجوسين	Alpine X	٢٦	١٥	٤
	Eocene الايوسين		٣	٢	٦
(الكاينوزى)	Paleocene الباليوسين		١٢	١	٧
الزمن الثانى					
(الميزوزى)	Cretaceous الكريتاسى		٥١	٦٥	١٣٥
	Jurassic الجوارسى		٤٤	٤٥	١٨
	Triassic الترياسى		٣	٤٥	٢٢٥
الزمن الأول		الحركة			
	Permian البرمى	الهرسينية	١٩	٤٥	٢٧٠
	Carboniferous الفحمى	Hercinian	٤٦	٨٠	٣٥٠
(الباليوزى)	Devonian الديفونى	الحركة X	٣٨	٥٠	٤٤٠
	Silourian السيلورى	الكاليدونية	٣٤	٤٠	٤٤٠
	Ordovician الأردوفيشى	Caledoninan X	٤٠	٦٠	٥٠٠
	Camberian الكمبرى		٤٠	١٠٠	٦٠٠
ما قبل الكمبرى	Proterozoic البروتروزوى	الحركة الكارنية	–	–	–
	Archaeozoic الأرزوى - او	Charnion	–	–	–
	(Eozoic) الأركى		–	–	–

ويدخل ضمن الغلاف الصخرى كذلك الرفارف القارية Continental Shelves وعلى الرغم من أن أرضية الرفارف القارية مغطاة بمياه البحار

والمحيطات الا أنها تعتبر الحواف الهامشية للقارات حيث تتألف من نفس التركيب الجيولوجى لصخور يابس القارات المجاور . وتتميز الرفارف القارية بأنها مناطق ضحلة من أرضية البحر ولا يزيد عمقها عن ١٠٠ قامة ، ويبلغ مجموع مساحتها فى كل المسطحات المائية نحو ١٠ مليون ميل مربع . وقد يبهرنا المظهر التضاريسى لسطح الأرض من أودية وأخاديد عميقة وجبال شاهقة الارتفاع كالهيملايا والروكى والالب . ولكن إذا ما قورنت هذه الظواهر بالأخاديد المحيطية ، وأعماق المحيطات البعيدة ، والحواجز الجبلية المحيطية لتبين أن الأخيرة تبدو بصورة بارزة واضحة بصورة أكبر من تضاريس سطح الأرض بكثير ويوضح الجدول الآتى اختلاف نسبة مساحة أجزاء سطح الأرض تبعا لمستويات محتلفة عن مستوى سطح البحر الحالى

المنسوب	نسبة مساحه الأرض (٪) (فوق هذه المناسيب)	نسبة مساحة الأرض (٪) (تحت هذه المناسيب)
١ ـ ٢٤ قدما فوق مستوى سطح البحر	٤	٩٩ ٩٩٦
٢ ـ ١٨. قدما فوق مستوى سطح البحر	٩٩	٩٩ ٩١
٣ ـ ١٢ قدما فوق مستوى سطح البحر	٧	٩٩ ٣
٤ ـ ٦. قدما فوق مستوى سطح البحر	٢ ٣	٩٧ ٧
٥ ـ مستوى سطح البحر	٢٧ ٧	٧٢ ٣
١ ـ ٦. ٠٠ قدما تحت مستوى سطح البحر	٤٢,٥	٥٧ ٥
٢ ـ ١٢.٠٠٠ قدما تحت مستوى سطح البحر	٥٧,٣	٤٢,٧٠
٣ ـ ١٨,٠٠٠ قدما تحت مستوى سطح البحر	٩٦,٨٠٠	٣,٢٠٠
٤ ـ ٢٤,٠٠٠ قدما تحت مستوى سطح البحر	٩٩,٩٣٠	٠,٠٧٠

ويتضح من دراسة هذا الجدول أن نسبة كبيرة من سطح الأرض تتميز بانخفاض منسوبها ، فنحو ٢٧ ٪ من مساحة سطح الأرض تقع فوق منسوب ٦٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر لاتزيد عن ٣ ٪ من جملة

المساحة الكلية لسطح الأرض . ويقدر بأن نحو ٨٥٪ من جملة مساحة الأرض تقع فيما بين مستوى سطح البحر ومنسوب ٦٠٠ قدم . ويمكن أن نلخص تلك الملاحظات في البيان الآتي [١] :

منسوب الأراضي فوق مستوى سطح البحر (قدم)	منسوب الأرض تحت مستوى سطح البحر (قدم)	النسبة المئوية لمساحة الأرض عند هذا المنسوب
١ ـ اكثر من ٦ قدم		٢ ٢ ٪
٢ . فيما بين سطح البحر وارتفاع ٦ قدم		٢٥ ٥ ٪
٣ ـ فيما بين سطح البحر ومنسوب ٥ قدم تحت سطح البحر		١٤ ٨ ٪
	٤ من ٦ ١٢ قدم	١٤ ٨ ٪
	٥ من ١٢ ١٨ قدم	٣٩ ٤ ٪
	٦ من ١٨ ٢٤ قدم	٣ ١ ٪

ويتبين من هذا العرض أن نسبة كبيرة جدا من سطح كوكب الأرض تقع تحت مستوى سطح البحر الحالي

وتتشكل قشرة ا يابس كذلك بواسطة بحار هامشية ، أو شبه قارية يطلق عليها تعبير Epicontinental Seas ذلك لأنها تتكون فوق الرفارف القارية نفسها أو على الحواف الهامشية الحدية لليابس ، ومن بين أمثلة هذه البحار بحر البلطيق ، وبحر الشمال ، وخليج هدسن ، وبحر اليابان ، وبحر الصين .

(1) Chamberlin, T. C. and Salisbury R. D. "Geology" , London (1909) p.17

الباب الثانى

التركيب الصخرى لقشرة الأرض

الفصل الرابع

المعـــادن

تتألف قشرة الأرض من صخور متنوعة النشأة إلا أنها جميعا تتكون بدورها من معادن يدخل فى تركيبها عناصر كيميائية متعددة . وقد تبين أن قشرة الأرض تتألف من ثمانية عناصر كيميائية رئيسة تتمثل فى الأكسجين والسليكون والألمنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنسيوم وتكون هذه العناصر الأخيرة مجتمعة نحو ٩٨،٥٨ ٪ من مجموع وزن القشرة الأرضية . أما العناصر الأخرى الأقل أهمية فلا تزيد نسبة وزنها عن ١،٥ ٪ من جملة وزن القشرة الأرضيه وتتمثل فى الأيدروجين والكربون والمغنسيوم والكبريت والكلور واليورانيوم والرصاص والبورون [1] ويوضح البيان التالى نسبة وزن كل من هذه العناصر المختلفة بالنسبة لجملة وزن صخور قشرة الأرض

العناصر الكيميائية	الرمز بالانجليزيه	نسبه وجودها فى القشرة الأرضية بالوزن فى المائة
الاكسجين	O	٪ ٦٤ ٧١
السليكون	Si	٢٧ ١٩
الالمونيوم	Al	٨ ٧
الحدي	Fe	٥ ٥
الكالسيوم	Ca	٣ ٦٥
الصوديوم	Na	٢ ٧٥
البوتاسيوم	K	٢ ٥٨
المغنسيوم	Mg	٢، ٨
		٪٩٨،٥٨
الايدروجين	H	١٤٠
الكربون	C	٠ ٠٩٤
المنجنيز	Mn	،٠٩٠
الكبريت	S	٠٨٢
الكلور	Cl	،٠٤٥
اليورانيوم	U	٠،٠٠٨
الرصاص	Ph	٠،٠٠٢
البورون	B	٠،٠٠١
عناصر أخرى	-	٠،٩٥٨
		٪١٠٠،٠٠٠

(1) Holmes C S., "College Geology" N . Y (1962) P.36.

ويلاحظ بأن ستة من هذه العناصر يمكن اعتبارها من مجموعة المعادن كذلك ، وخاصة عندما توجد هذه العناصر بكثرة فى الطبيعة وبحيث تتخذ لنفسها الصورة العامة للمعدن . ومن بين هذه العناصر الحديد الذى يعد فى نفس الوقت من المعادن الهامة التى يقوم الإنسان باستغلالها فى مشروعاته الصناعية المختلفة . وتزيد نسبة الألمونيوم فى قشرة الأرض عن نسبة الحديد فيها ، كما يمتزج المغنسيوم عادة بالألمونيوم ويتميز المغنسيوم بثقله النوعى الخفيف وفى بعض الأحيان يظهر كل من الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم على شكل معادن ، وتتحد هذه العناصر بسرعة مع بخار الماء الموجود بالجو . وعلى الرغم من المظهر المعدنى للسليكون إلا أنه لا يعتبر معدنا ، ويمتزج السليكون بكثير من الشوائب الطبيعية . ومن دراسة البيان السابق يتضح أن أكثر من نصف وزن قشرة الأرض يتألف من الأكسجين والأخير عبارة عن غاز كذلك يمثل اكثر من ½ حجم الغازات الموجودة بالغلاف الجوى المحيط بالأرض . ويمتزج الأكسجين بمعظم معادن قشرة الأرض وذلك عن طريق عملية الأكسدة .

وعندما تلتحم ذرات العناصر الكيميائية فى الطبيعة تكون ما يعرف باسم المعادن . ومن ثم فإن بعض المعادن تتكون من عنصر واحد من بينها الماس Diamond الذى يتكون من الكربون النقى . ومن ثم فإن المعدن عبارة عن مادة متجانسة تتكون تحت ظروف طبيعية أو كيميائية فى باطن قشرة الأرض أو فوق سطحها دون أن يتدخل الانسان فى عملية تكوينها . وتتميز جميع أجزاء المعدن الواحد بالتجانس ، ويتشابه كل جزء من أجزاء المعدن طبيعيا وكيميائيا مع بقية الأجزاء الأخرى من كتلة المعدن ويزيد عدد المعادن المعروفة فى الوقت الحاضرعن ثلاثة الاف معدن .

تمييز المعادن

ينبغى أن يتعرف كل من يهمه دراسة الاشكال التضاريسية لسطح الأرض على أهم المعادن التى تدخل فى تركيب قشرة الأرض . وإن دلت الخصائص الطبيعية للمعدن على شىء فإنما تدل على الظروف التى صاحبت نشأة المعدن وطريقة تكوينه .

وهكذا نجد أن هناك بعض المعادن تحكى لنا أكثر من غيرها عن سر نشؤها ، وهناك معادن أخرى يمكن تمييزها بسهولة عن غيرها ، فى حين أن هناك بعض المعادن تتطلب الكثير من الخبرة حتى يمكن معرفتها وتحديدها . ومن ثم تتطلب عملية تمييز المعادن وتصنيف بعضها عن البعض الآخر ، معرفة الكثير عن خصائصها الطبيعية العامة ودراستها كذلك تحت الميكروسكوب . ولكن ليس من مهام الجغرافى أو الجيومورفولوجى القيام بفحص المعادن تحت الميكروسكوب إذ أن هذا العمل يدخل فى مجال باحث علم المعادن Minerologist ولكن يهم الجيومورفولوجى أن يتعرف على مجموعات المعادن طبيعيا وفى الحقل حتى يتمكن من أن يدرك أنواع المعادن التى تدخل فى تركيب صخور المنطقة التى يقوم بدراستها ، وأثرها فى نسيج الصخر وتركيبه ومدى مقاومته لعوامل التعرية .

الخواص الطبيعية للمعادن

Physical Properties of Minerals

يقصد بالخصائص الطبيعية للمعادن ، تلك المميزات التى تشكل المعادن وتميزها بصورة مباشرة وأن يتعرف الباحث على المعادن بمجرد النظر إليها بالعين المجردة وبوسائل طبيعية بسيطة . ومن ثم قد يستخدم الباحث فى هذه الحالة بعض الأدوات البسيطة مثل عدسة مكبرة ، ومطواه

لخدش المعدن وتحديد درجة صلابته . ومن بين أهم الخواص الطبيعية للمعادن ما يلى :

١ - الشكل البلورى : Crystal Form

عند ترسيب المعادن أو أثناء تعرض المعادن المنصهرة لبرودة تدريجية تتصلب أجزاء المعادن فى أشكال هندسية منتظمة تعرف باسم البلورات Crystals . ويطلق على عملية تكوين بلورات المعادن اسم عملية التبلور Crystallisation ولا تقتصر عملية التبلور على مجرد تكوين الأشكال الخارجية للمعدن بل كثيرا ما يصحب ذلك انتظام فى جميع الخواص الطبيعية الأخرى مثل الصلابة ودرجة التماسك [١] ، ومرور الضوء فى المعدن ، ومدى انتقال الحرارة فيه . وتتكون أسطح البلورة المعدنية من عدة أوجه بلورية Crystal Faces تؤلف مجتمعة الشكل المميز للبلورة المعدنية.

وتتقابل الأوجه البلورية فى خطوط مستقيمة تسمى حروف البلورة Crystal edges ، وتعرف الزوايا المحصورة بين أوجه البلورة باسم زوايا البلورة Crystal angels (شكل ٣٤) .

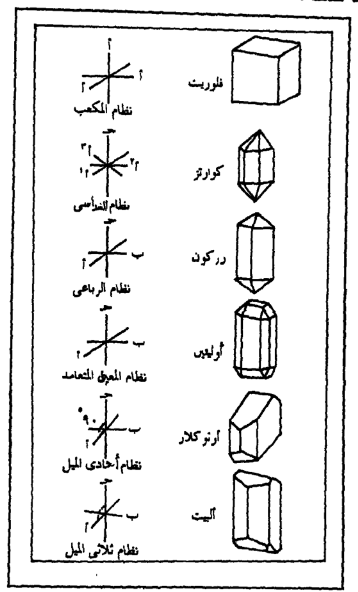
وحتى عند تكسر المعدن وتشويه شكله الهندسى الخارجى وبحيث لا يتبقى من هذا الشكل سوى وجهين منه فقط ، فيمكن للباحث أن يستنتج بقية أشكال أوجه المعدن ، وتحديد الشكل البلورى العام للمعدن .

ومن بين أقدم الدراسات الخاصة بقياس زوايا بلورات المعادن تلك التى قام بها نيقولاس ستينو فى عام ١٦٦٩ عند قياسه الزوايا المحصورة بين الأوجه البلورية المتماثلة لعينات مختلفة من معدن الكوارتز . وقد أوضح ستينو بأن بلورة الكوارتز تتألف من ستة أوجه رأسية (تعرف باسم المنشورات) وتنتهى بستة أوجه مائلة مكونة فى جملتها شكل الهرم السداسى ووصل الى نتيجة هامة تتلخص فى أنه مهما كان الاختلاف فى شكل بلورة الكوارتز وتنوع حجمها فإن الزوايا المحصورة بين أوجه

---

(١) حسن صادق (الجيولوجيا) - القاهرة ١٩٣٠ - ص١٤ .

المنشور المتجاورة دائما تكون ١٢٠° والزوايا المحصورة بين الأوجه المتماثلة تكون ثابتة كذلك .



شكل (٣٤) بعض أشكال البلورات المعدنية

ويلاحظ أن البلورات المعدنية الصغيرة الحجم كثيرا ما تكون متكاملة وأكثر تناسقا من البلورات المعدنية الكبيرة الحجم . وقد يعزى ذلك إلى أن أجزاء البلورات المعدنية الكبيرة الحجم قد تتأثر بنمو بلوري مختلف من

جزء الى أخر . وعلى الرغم من أن أوجه المعدن الواحد فى بلورات مختلفة قد تكون مختلفة الحجم إلا أن مقدار الزوايا المحصورة بين أوجه المعدن تتشابه مع بعضها البعض الآخر تشابها كبيراً . أو بمعنى أخر ليست العبرة بحجم البلورة بل بشكلها فقد تكون بعض بلورات المعدن الواحد صغيرة أو ميكروسكوبية الحجم . فى حين قد يكون بعضها الآخر كبير الحجم إلا أن الشكل البلورى يكون متشابها فى الحالتين ١٥٤

وعند فحص البلورات المختلفة للمعادن يتبين أن الكثير من أوضاع أوجه البلورات وأحرفها متماثلة الى درجة كبيرة وينتج عن ذلك تكرار تكوين أوجه وأحرف معينة للبلورة ومن ثم يستطيع الدارس أن يصنف مجموعات المعادن على أساس التماثل البلورى الخاص ببلورات كل معدن ويحدد هذا التماثل فى البلورة المعدنية بالنسبة الى خط تصورى يمر بمركز البلورة بحيث يمكن أن ندور البلورة عليه وأن يظهر نفس المنظر اكثر من مرة خلال عملية الدوران دورة كاملة ويطلق على هذا الخط اسم مستوى أو محور التماثل Axis of Symmetry [1]

وعندما يكون للبلورة المعدنية محورا تصوريا للتماثل فمعنى ذلك أن لهذه البلورة أوجه متوازية على الجوانب المتقابلة للبلورة وأن كل نقطة على البلورة لها ما يماثلها على أبعاد متساوية فى الجانب الآخر من المركز

وقد ميز علماء المعادن أربعة أنواع مختلفة من محاور التماثل تتلخص فيما يلى :

١ ـ المحور الثنائى :

Two - fold, diad, half turn, or digonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة مرتين خلال دورة كاملة أى كل ١٨٠°

(1) H H. Reed "Rutley's elements of mineralogy" 24 th edit. (1936) P 59

٢ - المحور الثلاثى :

Three - fold, triad, thrid turn, or trigonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة ثلاث مرات خلال دورة كاملة أى كل ١٢٠ْ .

٣ - المحور الرباعى :

Four - fold, tetrad, quarter turn or tetragonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة أربع مرات خلال دورة كاملة أى كل ٩٠ْ .

٤ - المحور السداسى :

Six - fold, hexad, or - sixth turn, or hexagonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة ست مرات خلال دورة كاملة أى كل ٦٠ْ .

ويطلق على النظام البلورى التام للمعدن تعبير euhedral فى حين إذا كان الشكل البلورى للمعدن غير تام ، أو بمعنى اخر أن بعض أوجه المعدن اكبر حجما من بعضها الآخر فيطلق على النظام البلورى للمعدن فى هذه الحالة تعبير anhedral . ويلاحظ بانه يمكن إن نجد قطعة معدنية تتركب من جزيئات غير تامة anhedral grains إلا أن كل بلورة من جزيئات هذا المعدن لابد وأن تشتمل على نفس النظام الذرى الخاص بهذا المعدن .

أشكال النظام البلورى

تقسم بلورات المعادن بحسب اختلاف أشكالها ودرجة تناسقها ، ومقدار الزوايا التى تتقاطع فيها محاورها التصورية الى سبع مجموعات تتلخص فيما يلى [1] :

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع المرجع السابق - ص ١٦ .
B - Lellant, c., "Rocks, minerals and fossils of the world" PAN BOOK , London (1990)P.50

أ ـ النظام المكعب : Cubic System

وتتميز بلوراته بثلاثة محاور تصورية متساوية ومتعامدة ومنها المكعب البسيط مثل بلورات ملح الطعام وبلورات معدن البيريت Pyrite والمكعب ذو الثمانية أوجه Octahedron مثل بلورات أكسيد الحديد المغناطيسى mangnetite والمكعب ذو الاثنى عشر وجه Dnodecahedron مثل معدن العقيق الأحمر Garent (شكل ٣٥) .



شكل (٣٥) النظام المكعب لبلورات معدن البيريت

لاحظ وجود الحذوز الخطية المتوازية Striations لأسطح المعدن وأن هذه الحذوز على أحد أوجه المعدن عمودية على الحذوز الممثلة على الوجه المقابل له .

ب ـ النظام الرباعى : Teragonal System

وتتميز بلورات هذه المجموعة بثلاثة محاور تصورية كذلك إلا أن اثنين منهما متساويات فى الطول والمحور الثالث قد يكون أطول أو أقصر من المحورين الآخرين ، ومن بين أمثلة ذلك بلورة الزركون .

جـ ـ النظام الثلاثى : Triagonal Systyem

وتمثله بلورة الكوراندم .

د - النظام المعين : Orthorhombic System

لبلورات هذا النظام ثلاثة محاور تصورية إلا أن كلا منهما يختلف عن الآخر من حيث الطول ، ومن بين أمثلة بلورات هذا النظام بلورة الكبريت .

هـ - النظام السداسى : Hexagonal System

ولبلورات هذا النظام أربعة محاور تصورية . وتمثله بلورات الكوارتز والكلسيت

و- نظام الميل الواحد : Monoclinic

وتمثله بلورات معدن الأرثوكلار Orthoclase ومعدن الجبس Cypsum

ز- نظام الثلاثة ميول Triclinic System

وبلوراته غير متناسقة الشكل وتمثل هذا النظام بلورات الألبيت Albite

التراكيب والتجمعات البلورية

ليس من الضرورى أن تكون جميع بلورت المعادن كاملة النمو ومتماثلة الأوجه ، ولكن كثيرا ما نجد بعض المعادن على شكل بلورات ناقصة النمو ، ومن ثم تتجاور هذه البلورات المعدنية الناقصة وتكون فى مجموعها بعض التراكيب والتجمعات الخاصة التى تساعد على تمييزها [1] . ومن بين هذه التراكيب :

أ - التركيب الليفى : Fibrous

ويتكون من الياف رفيعة تظهر كالخيوط المتجاورة كما هو الحال فى معدن الاسبستوس وجبس ساتن سبار .

ب - التركيب العمدانى : Columnar

ويتكون من أعمدة رأسية دقيقة متجاورة كما هو الحال فى معدن الهورنبلند .

جـ - التركيب الصفائحى : Lamellar

ويتكون من قشور أو صفائح رقيقة السمك جدا كما هو الحال فى معدن التلك (أو الطلق) Talc

ز - التركيب الحبيبى : Granular

ويتكون من تجمع حبيبات أشبه بالنسيج السكرى كما هو الحال فى الرخام

وفى بعض الأحيان الأخرى قد تتجمع البلورات الناقصة للمعدن على شكل تجمعات تظهرها بأشكال خارجية خاصة يمكن أن تساعد كذلك فى عمليات تمييز المعادن ومن بين هذه المجموعات المختلفة من التجمعات تلك المعروفة بالتجمعات العنقودية Botryoidal مثل معدن الدلوميت . والتجمعات الحلمية mammillar مثل معدن المالاكيت والتجمعات الشجرية Dendritic مثل معدن البيرولوسيت والتجمعات البطروحية Oolitic مثل الحجر الجيرى الأولينى أو البطروحى وبعض ركازات الحديد والتجمعات السلكية أو الخيطية Wiry or filiform مثل معدن الفضة والتجمعات النجمية أو الإشعاعية Stellated مثل معدن الويفيلات . والتجمعات الرقلية (الاستلاكتينية) Stalactitic مثل البسلوميلين والتجمعات المرجانية Coralloidal مثل معدن الأراجونيت (زهور الحديد) (١)

٢ - اللون . Colour

من الصعب أن يتخذ لون المعدن كخاصية طبيعية يمكن الاعتماد عليها تماما عند تمييز مجموعات المعادن المختلفة ، ذلك لأن المعدن الواحد قد يظهر بعدة ألوان مختلفة تبعا لنوع الشوائب المختلفة فيه ، ومع ذلك فهناك بعض المعادن كثيرا ما تظهر بلون ثابت يميزها عن غيرها ومنها معدن البيريت Pyrite ذو اللون الأصفر النحاسى ، القليل التأثر بالشوائب

---

(١) «الجيولوجيا الهندسية» د. فخرى موسى وآخرون دار المعارف - القاهرة - ١٩٦٨ ص ١٦ .

، ومـعـدن النحـاس الخـام الذى يبـدو دائمـا أحـمـر اللـون ، والفلسـبـار الارثوكلازى عادة أحمـر اللون والأوليفين أخضـر اللون . وبعض المعـادن الأخرى مثل الكـوارتز الصـخرى Rock Quartez والكلسيت Calcite تظهر عـادة بيضـاء اللون بل قد لا يكون لا لون لـهمـا فى حالة نقاوتهمـا التامة . وإذا اختلطت هـذه المعـادن الأخيرة بشوائب ما تكتسب فى هذه الحالة ألوان مـتـعـددة ، فـهناك الكـوارتز الابيض اللـبنى Milky quartz ، والـكـوارتـز البنـفسـجـى الذى يخـتلط فى أكـسـيـد المنجـنيـز والكوارتز الأحـمـر - الكالسـدونى Chalcedony الذى يخـتلط فـيه اكـسـيـد الحـديد . والكوارتز الأخضر Green Quartz الذى تختلـط معه بعض المواد الطينـية . والكوارتر الوردى Rose quartz ويظهر معدن البلاجيوكلار بألوان مختلفة من بينها الألوان البـيضـاء والرمـادية والزرقـاء . وكـثـيرا مـا نجـد مـعـدن الكـوروندوم رمادى أو أحمر أو أزرق اللون (شكل ٣٦ ، ٣٧)

وقد يتأثر لون المعدن تبعا لكمية الأشـعة الضوئية التى يمتصها المعدن وتلك التى يعكسـهـا عند سقـوطهـا على سطحـه . ومن المعروف أن المعـادن ذات اللون الأبيض تسمح عادة بمرور جمـيع ألوان الطيف بنسب متساوية ، أمـا المعادن السـوداء اللون فـأنها تمتص جميعـا ألوان الطيف . فى حين أن المعادن الحـمراء اللون تمـتص جميع ألوان الطيف فيما عدا المجموعة التى ينتج عنها الاحساس باللون الأحمر .

وهناك بعض المعـادن الأخرى تظهـر بألوان مـتعـددة إذا مـا وجه إلـيهـا شعاع النظر من اتجاهات مختلفة ومن بينها معدن الفلورسبار flurospar . فـإذا نظـر الى هذا المعـدن مـن اتجـاهين مـخـتلفـتين يظهـر المعـدن بلـونين مـخـتلفـتين كـذلك همـا اللـون الأخـضـر واللون البـنفـسـجى . ومـعـدن التـورمالين قـد يكون أسـود اللون تماما عند فحـصـه فى اتجاه مـعين ، ثم يصبح لونه أخضرا أو بنيا إذا ما وجه إليه شعاع النظر من اتجاه آخر .

٣ - البريق:- Luster

لكل معدن درجة من البريق والـلـمعان قـد تميزه عن غيـره من المعادن الأخرى ، ويحـدد طبيـعة بريق المعـدن ودرجة لمعانه مقدار الضـوء المنعكس

من على سطح المعدن فهناك معادن تمتص الأشعة الضوئية ومن ثم يصبح بريق المعدن ضعيفا أو معتما ، ولا ينعكس من على سطح المعدن سوى نسبة محدودة جدا من الأشعة الضوئية . فى حين أن هناك بعض المعادن الأخرى تمتص نسبة محدودة من الأشعة الضوئية وتعكس القسم الأكبر من هذه الأشعة الساقطة على سطحها ومن ثم يكون بريق المعدن قويا أو شديدا .

وقد ميز علماء المعادن مجموعتين رئيسيتين من المعادن ذات بريق مختلف هما

البريق الفلزى Metallic

وفى هذه الحالة يشبه بريق المعدن بريق أسطح الفلزات المعدنية المصقوله ومن بين أمثلة ذلك بريق الجلينا Galena وكبريتور الرصاص ، والنحاس والجرافيت

البريق اللافلزى Non-metallic

وهو بريق لا يشبه الفلزات المعدنية وله عدة أنماط مختلفة من بينها

١ . البريق الماسى Adamantine

ويميز هذا البريق بعض المعادن الشفافة وخاصة معدن السيروسيت Carussite (كربونات الرصاص) . والالماس

ب . البريق الصمغى Resinous أو الدهنى Greasy

ويظهر بريق المعدن وكأنه مغطى بطبقة رقيقة السمك شبه لزجة تشبه الصمغ أو الدهن ومنها أسطح معدن الكبريت .

جـ . البريق الزجاجى : Vitreous

يبدو بريق المعدن فى هذه الحالة وكأنه بريق سطح الزجاج ، ويظهر ذلك فى بعض المعادن الشفافة مثل الكالسيت والكوارتز والهاليت ، كما يظهر البريق الزجاجى فى معادن الابتيت والبلاجيوكلاز والأورثوكلاز والأولفين والتوبار والكورندم .

د ـ البريق اللؤلؤى : Pearly

ومن أمثلته بريق معدن الطلق Talc والميكا Mica والجبس (السلنيت)

هـ ـ البريق الحريرى : Silky

ويظهر بوجه خاص فى المعادن الليفية النسيج ومنها الاسبستوس Asbestos والجبس الليفى .

٤ ـ المخدش : Streak

يلاحظ بأن بعض المعادن عند خدشها بمبراة قد يظهر مسحوقها بلون يختلف تماما عن لون السطح الخارجى للمعدن . وعلى سبيل المثال نجد أن معدن الأبتيت بنى أو أخضر اللون ، والكوارتز لا لون له فى حالة نقاوته ، والأوليفين أخضر اللون والكورندم رمادى اللون وقد يكون أحمر أو أزرق اللون ، إلا أن مخدش هذه المعادن جميعا يكون أبيض اللون . ومن النادر أن يكون لون سطح المعدن مماثلا تماما لون مخدشة ، وتتمثل هذه الحالة الأخيرة فى معادن النحاس الخام والطلق والجرافيت وعند خدش المعدن يحسن خدش منطقة واسعة نسبيا من سطحه حتى يحصل الباحث على نتائج صحيحة عن اللون الحقيقى لمسحوق المعدن

٥ ـ الصلابة : Hardness

يقصد بدرجة صلابة المعدن مدى مقاومة المعدن لفعل التحلل والتفكك والخدش وتتشكل صلابة المعدن تبعا للترتيب الداخلى للذرات التى يتألف منها المعدن . وقد اتفق علماء المعادن على استخدام مقياس (موص) لقياس صلابة المعادن Moss scale of hardness وفى هذا المقياس تم اختيار عشرة معادن ووضع لكل منها رقما ، وترتب المعادن تبعا لاختلاف درجة الصلابة ترتيبا متتاليا بحيث يكون أقل المعادن صلابة يرمز إليه بالرقم ١ ، وأشدها صلابة يرمز إليه بالرقم ١٠ وتتمثل هذه القائمة من المعادن فيما يلى :

ملاحظـــــات	المعـــــدن		درجة الصلابة
يخـدش بالـظفـر	Talc	الـطـلـق	١
يخـدش بالـظفـر	Cypsum	الجـبس	٢
يخـدش بالمبـراة	Calcite	الـكلسـيت	٣
يحـدش بالمبـراة	Fluorspar [1]	الفلورسبار	٤
يحـدش بالمبـراة	Apatite	الابتـيت	٥
يحـدش بالمبـراة	Orthoclase	الارثوكـلار	١
لا تؤثر فيها المبراة	Quartz	الـكـوارتـز	٧
لا تؤثر فيها المبراة	Topaz	التـوبار	٨
لا تؤثر فيها المبراة	Corundum	الـكوروندوم	٩
لا تؤثر فيها المبراة	Diamond	المـــاس	١

وعلى ذلك فالمعدن الذى يقاوم الخدش يكون شديد الصلابة والمعدن الذى يخدش الآخر إذ حك على سطحه يعتبر أصلب من المعدن المخدوش وعلى ذلك يمكن أن نحدد درجة صلابة أى معدن عندما تخدشه بالظفر أو بمسمار حديدى أو بالمبراة أو يخدش المعدن بغيره من المعادن التى تتشابه معه فى درجة الصلابة لتحديد مركزه فى مقياس موص . وعلى سبيل المثال يلاحظ أن معدن البيريت يخدش الفلسبار الارثوكلازى (٦) إلا أنه ينخدش بالكوارتز (٧) وعلى ذلك فان درجة صلابته تقع بين هذين المعدنين وتقدر بنحو ٦,٥ . أما معدن البيوتيت تساوى ٢,٥ ، وأما الدولوميت فانه يخدش معدن الكلسيت ، فى حين يخدش بالفلورسبار وعلى ذلك فصلابته نحو ٣,٥ وهلم جرا .

---

(١) الفلورسبار : فلورود الكالسيوم

٦ ـ التشقق : Cleavage

عندما تتعرض أسطح بعض المعادن للضغط الشديد أو للكسر ، فقد ينجم عن ذلك تشقق أسطح المعادن فى نُظم مختلفة . ويتأثر نظام تشقق المعدن وفقا لطبيعة التركيب الداخلى لذرات العناصر المكونة للمعدن. وكثيرا ما تظهر اتجاهات تشقق المعدن على طول مناطق الضعف بين ذراته المكونة له . وفى هذه الحالة تتميز أسطح المعدن بمستويات محددة من التشقق Planes of Cleavages

وتختلف درجة التشقق من معدن الى اخر فقد يكون التشقق غير واضح Obscure كما هو الحال بالنسبة للكوروندم والكاولين أو جيد Good مثل معدن الجبس . أو تام Perfect مثل الطلق والجرافيت والتوباز وإذا كان التشقق فى المعدن مميزا بسهولة فيعرف التشقق فى هذه الحالة بأنه تام جداً Highly Perfect ومن بين أمثلة ذلك معدن الميكا Mica الذى يتشقق على شكل صفائح رقيقة السُمك جداً فى مناطق الضعف الذرى البلورى

وهناك مجموعة من المعادن الأخرى تتشقق فى اتجاهين متعامدين مثل الهورنبلند والبلاجيوكلاز وأخرى تتشقق فى اتجاهات موازية لوجوه المعين ومنها الكلسيت ويعرف التشقق فى هذه الحالة باسم التشقق المعينى Rhombohedral Cleavage وهناك نمط آخر من التشقق ذو الثمانى أوجه Octahedral Cleavage مثل الفلوريت والالماس

وفى المعادن التى لها أكثر من اتجاه للتشقق تقاس عادة الزاوية المحصورة بين إتجاهى التشقق وتعرف بزاوية التشقق Angles of Cleavage وعلى سبيل المثال تبلغ هذه الزاوية فى معدن الهورنبلند نحو ٥٦° ونحو ١٢٤° ، فى حين تبلغ هذه الزوية ٩٠° فى معدنى الأورثوكلاز والبلاجيوكلاز .

٧ ـ المكسر : Fracture

يلاحظ أن أسطح بعض المعادن لا تتميز بظاهرة التشقق ولكن عندما تنكسر أجزاء منها فإن السطح (المتكسر) يتشكل بحدوث خاصة يطلق عليها تعبير مكسر المعدن . وقد يكون سطح المعدن بعد كسره أما مستويًا أو مقعرا أو محدبا أو منتظم السطح . أما شكل المكسر فقد يكون هو الآخر مستويا even مثل مكسر الكالسيت أو غير مستوى Uneven مثل مكسر معادن الطلق والجرافيت والابتيت والبلاجيوكلاز والتوباز والكورندوم .. وقد يكون مكسر المعدن خشنا أو خشبيا Hackly or Rough مثل معدن النحاس أو شظيبا Splintery مثل مكسر الجبس (السيلينيت) ، وقد يكون محاريا Conchoidal مثل مكسر معادن الكوارتز والأوليفين والالماس (انظر شكل ٢٤) ومن أجمل أمثلة المكسر المحارى ما يحدث فى معدن الكواتز عند كسره حيث يظهر كسره على شكل خطوط مقوسه متوازية اشبه بالمحار أو الزجاج السميك عند كسره .

وهناك بعض المعادن الأخرى تتميز أسطحها بأن لها حذوذ وخدوش خيطية رفيعة متوازية . وتعرف هذه الخدوش باسم الخدوش الخيطية Stri-ation وتلاحظ مثل هذه الخدوش فوق أسطح بلورات الكوارتز والبيريت (انظر شكل ٣٧) . وإن دلت هذه الخدوش على شيء فإنما تدل على نظام الترتيب الذرى الداخلى لعناصر بلورات المعدن .

٨ ـ الثقل النوعى : Specific Gravity

تتميز الذرات المكونة لبعض المعادن بزيادة ثقلها ووزنها فى حين أن بعضها الآخر قليل الوزن ، كما تختلف المسافة الفاصلة بين كل ذرة وأخرى داخل معدن ما عنها فى معدن أخر . وثم يتضح بأن هناك معادن ثقيلة وأخرى خفيفة الوزن . وقد نصادف قطعتين من معدنين مختلفين متساويين فى الحجم إلا انهما قد يختلفان من حيث الثقل النوعى ، كما هو الحال بالنسبة لقطعتين من الحديد (ثقلة النوعى ٧,٥) والكبريت (ثقلة النوعى ٢) . واختلاف الثقل النوعى فى عينات الصخور قد يرجع

الى اختلاف التركيب المعدنى للصخر ، أو الى كثرة الفراغات التى قد تتمثل فى الصخر ووجود بعض الغازات المحبوسة داخل الصخر كما هو الحال بالنسبة لصخر الخفاف Pumic Rock .

ويحدد الثقل النوعى لأى مادة على انه النسبة بين وزن حجم معين من هذه المادة ومقارنته بحجم مساو له من الماء المقطر عند درجة حرارة ٤° م .وعلى هذا الأساس يكون الثقل النوعى للماء يساوى ١ ، وعندما يكون الثقل النوعى بين معدنين مختلفين واضحا ومحسوسا فيمكن أن يحدد هذا الفرق النسبى باستخدام راحة اليد وحدها ، وإذا كان هذا الفرق بسيطا فيستعمل فى هذه الحالة موازين خاصة لتحديد الثقل النوعى للمعدن ، مثل ميزان وكر Walker's ، وميزان جولى Jolly's Spring balance وباستخدام ماسورة الثقل النوعى أو البكنومتر Pycnometer وقد تحسب كذلك قيمة الثقل النوعى لعينات الصخر بالمعادلة الآتية : $\frac{و_١}{و_٢ - و_٣}$ حيث إن :

و١ = وزن عينة الصخر بعد تجفيفها لمدة ٢٤ ساعة فى فرن حرارته ١٠٠° م .

و٢ = وزن عينة الصخر بعد وضعها فى ماء لمدة ٤٨ ساعة وتشبعها بالماء تماما .

و٣ = وزن عينة الصخر وهى مشبعة بالماء ومعلقة فيه .

ويطلق على النسبة بين حجم الفراغات الموجودة فى الصخر والحجم الكلى للعينة باسم النسبة المئوية للمسامية ، وعلى ذلك فإن هذه النسبة الأخيرة تتمثل فى المعادلة الآتية :

$$م = \frac{و_٢ - و_١}{ح} \times ١٠٠$$

حيث إن م = النسبة المئوية لمسامية الصخر

و٢= وزن عينة الصخر وهى مشبعة بالماء

و١ = وزن عينة الصخر وهى جافة

ح = الحجم الكلى لعينة الصخر .

وقد تبين بأن أغلب المعادن يتراوح ثقلها النوعى من ٢,٣ الى ٥ ، وأن متوسط الثقل النوعى للمعادن التى تدخل أساسا فى التركيب الصخرى لقشرة الأرض يبلغ نحو ٢,٧٠ . وعلى أساس اختلاف الثقل النوعى للمعادن أمكن تصنيف طبقات الكرة الأرضية الى طبقات صخرية ونطاقات معدنية مختلفة . وقد تبين أن متوسط الثقل النوعى للطبقات الصخرية العليا التى تتألف منها قشرة الأرض يبلغ نحو ٢,٨٠ فى حين يزيد متوسط الثقل النوعى للمواد التى يتألف منها جوف الأرض عن ٨ . ومعنى ذلك أن قشرة الأرض تتألف من مواد خفيفة الوزن فى حين تتجمع المواد الثقيلة الوزن فى جوف الأرض .

وبمعرفة الثقل النوعى للمعادن يمكن أن تميز المعادن تمييزا مباشرا . وعلى سبيل المثال نلاحظ بأن معدن الكلسيت ومعدن البيريت يتشابهان فى كثير من الخصائص الطبيعية ، ولكنهما يختلفان اختلافا كبيرا من حيث الثقل النوعى لكل منهما . فبينما يبلغ الثقل النوعى للكلسيت ٣,٢ نجده فى البيريت ٢,٥ . ومن ثم يمكن للدارس تمييز هذين المعدنين مباشرة بعد حملهما على راحة اليد ومقارنة كل منهما بالآخر من حيث الثقل النوعى الخاص بهما .

٩ - درجة الشفافية : Degree of Transparency

لا تتأثر درجة شفافية المعدن باختلاف سمك المعدن بل على مقدار الاشعة الضوئية التى تنفذ خلال ذرات المعدن . وعلى هذا الاساس ميز الباحثون بين المعادن العالية الشفافية Perfectly transparnet والتى تنفذ خلالها الأشعة الضوئية ولا تحجب عن العين المجردة ما يقع خلفها ، ومن بينها الكوارتز النقى والايسلندسبار Icelandspar ، وبين المعادن شبه الشفافة أو نصف الشفافة Translucent ومنها الأوبال والجبس ، وأخرى معادن معتمة Opaque لا ينفذ الضوء خلالها .

الى جانب هذه الخواص الطبيعية الاساسية للمعادن ، قد تتميز بعض المعادن بخواص طبيعية ثانوية يمكن أن نلخص بعضها فيما يلى :

أ - قوة المغناطيسية Magnetism

حيث تتميز بعض المعادن بزيادة قوتها المغناطيسية وأخرى لا تملك هذه الخاصية . ويلاحظ أن المعادن الأعلى مغناطيسية تجذب إليها بعض المعادن الأخرى الأقل مغناطيسية إذا ما وقعت تحت تأثير مجالها المغناطيسى . ومن بين المواد الممغنطة التى عرفها الانسان الحجر المغناطيسى Lodestone ومعدن الماجنيتيت Magenetite .

ب - المذاق : Tast

يلاحظ أن بعض المعادن التى تذوب فى الماء لها مذاقا خاصا قد يميزها عن غيرها من المعادن الاخرى . ومن بين أمثلة ذلك معدن الهاليت Halite (الصخر الملحى) والملح العادى .

جـ - ادراك المعدن : Feel Of minerals

يمكن أن يدرك الفاحص نوع المعدن وذلك بمشاهدة السطح الخارجى للمعدن سواء أكان هذا السطح خشنا Rough-Looking أو ناعما Soapy .

د - الرائحة : Odour

بعض المعادن تتميز برائحة خاصة كما هو الحال بالنسبة للمعادن المكونة للصلصال . وعندما يعتاد الفاحص على رائحة المعادن وهى فى حالتها الأولية يمكن له أن يتعرف عليها بسهولة .

هـ - ليونة ومرونة المعدن : Flexibility and Elasticity

معظم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض غير مرنة ، ولكن هناك بعض المعادن تتميز بمرونتها وأخرى بليونتها وبعضها الآخر قد تتميز بكونها مرنة ولينة معا . فإذا أمكن اعادة المعدن الى شكله الأول بعد ثنيه وفى نفس الوقت يمكن ثنى المعدن ليأخذ اشكالاً متعددة فيعرف المعدن فى هذه الحالة بأنه مرنا Elastic ومن بين امثلة ذلك البيوتيت (الميكا السوداء Biotite) والمسكوفيت (الميكا البيضاء Muscovite) .

وفى حالة إذا كان المعدن قابلا للثنى والانحناء دون أن ينكسر ، ولكن من الصعب ارجاعه الى شكله الأصلى فيصبح المعدن لينا Flexible إلا أنه غير مرن ، ومن بين أمثلة ذلك الكلوريت Chlorite والسلينيت Selenite .

المعـــدن	رمزه الكيميائى	درجة الصلابة	اللـــــــــون	البريق	المخدش
الطلق	HMgSiON	١	ابيض - مخضر اللون	لؤلؤى	أبيض
الجرافيت	G	١	أسود - رمادى	فلزى - معتم	أسود
الجبس/السلنيت	CaSO2 2HO	٢	عادة لا لون له	لؤلؤى	أبيض
الكاولين	HALSi On	٢	أبيض - رمادى	معتم	أبيض
النحاس	Cu	٣	أحمر نحاسى	فلزى	أبيض
الكالسيت	$Ca Co_3$	٣	لا لون له - مظلل	زجاجى	احمر نحاسى
الفلوريت	$Ca F_2$	٤	أصفر - أخضر	زجاجى	أبيض
الابتيت	Ca FPO	٥	بنى - أخضر	زجاجى	أبيض
البلجيوكلاز	NaCaALSiO	٦	ابيض - رمادى - ازرق	زجاجى	أبيض
الأورثوكلاز	$KALSiO_2$	٦	عادة أحمر	زجاجى	أبيض
الكوارتز	$Si O_2$	٧	لا لون له	زجاجى	أبيض
الاوليفين	Fe Mg SiO	٧	أخضر	زجاجى	أبيض
التوباز	ALFSiO	٨	أبيض مظلل	زجاجى	أبيض
الكورندوم	$Al_2 O_3$	٨	رمادى - احمر - ازق	زجاجى	أبيض
الالمـــاس	C	١٠	لا لون له واحيانا اسود	ماسى	أبيض

رمزه الكيميائى	المكسر	الثل النوعى	المخدش
تام	غير مستوى	٢,٧	لين ـ دهنى الملمس
تام	غير مستوى	٢,٢	لين ـ دهنى الملمس ـ يترك اثر على الورق
تام ـ متسط	شظى	٣,٣	لين ـ شفاف
غير واضح	غير مستوى	٢,٦	له رائحة التربة الارضية ـ دهنى الملمس
لا يتشقق	خشن	٢,٨	قابل للطرق والسحب
تشقق معينى	مستوى	٢,٧	له خاصية ازدواج انكسار الاشعة
تشقق ثمانى	مستوى	٣,٢	يتوهج بشدة ـ بلوراته مكعبة
لا يتشقق	غير مستوى	٣,٢	بلوراته سداسية الجوانب
مستويان للتشقق يتقابلان فى زاوية قائمة	غير مستوى	٢,٧	بلوراته مستطيلة وبه خدوش ترامية
مستويان للتشقق فى زاوية قائمة	غير مستوى	٢,٦	بلوراته كبيرة
لا يتشقق	محارى	٢,٧	بلوراته لها عادة ستة أوجه ، شفاف ـ [illegible] شفاف
ضعيف التشقق	محارى	٣,٣	يحدث فى كتل محببة الشكل
تام	غير مسنى	٣,٥	شفاف ـ نصف شفاف
عادة غير واضح التشقق	غير مستوى	٤,٠	يكثر فيه بلوراته ذات طلة أوجه
تشقق ثمانى	محارى	٣,٥	يحدث أحيانا على شكل بلورات مصهارة

و ـ قابلية الطرق Malleability

يطلق على المعادن التى يمكن أن تتشكل بضربات المطرقة اسم المعادن القابلة للطرق malleable ومن بينها الذهب والنحاس أما المعادن الأخرى التى تنكسر تحت ضربات المطرقة فهى معادن غير قابلة الطرق .

ز ـ قابلية السحب أو الممطوطية : Ductility

بعض المعادن قابلة للسحب ويمكن تحويلها الى أسلاك رفيعة جدا كما هو الحال بالنسبة للنحاس والفضة فى حالتيهما الأصلية فى حين أن هناك معادن أخرى غير قابلة للسحب أو للمط .

ويجب أن نشير فى هذا المجال بأنه من الصعب أن نميز معدن ما على أساس خاصية واحدة أو خاصيتين من خواص المعدن الطبيعية . بل لابد وأن نتعرف على المعدن بعد تحديد عدة خصائص طبيعية مختلفة حتى يمكن بعدها أن نحدده ونميزه عن غيره من المعادن الأخرى . وعلى ذلك فقد يصادف الباحث معدنين متشابهين فى بعض خصائصهما الطبيعية وعليه أن يتعرف على بقية خصائصهما الطبيعية حتى يمكن له أن يميز كل معدن عن الآخر . ويوضح الجدول الآتى بيان بعض المعادن الهامة مرتبة بحسب اختلاف درجة صلابتها وموقعها فى مقياس موص للصلابة ، وخصائصها الطبيعية الرئيسية التى تميز كل معدن عن معدن آخر .

أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض

Rock - Forming Minerals

على الرغم من أن عدد المعادن المعروفة فى الوقت الحاضر يزيد على ثلاثة آلاف معدن ، إلا أن أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض محدودة جدا ومن بينها الكوارتز والكلسيت وأكاسيد الحديد والجبس والملح والفلسبار والميكا والهورنبلند والأوجيت والأوليفين . وعلى سبيل المثال تتمثل نسبة معدن الكوارتز بنحو ٧٠٪ فى الصخور الرملية و ٣١٪ فى الجرانيت و ٣٢٪ فى الصخور الصلصالية . أما معدن الفلسبار فيتمثل بنسبة ٥٢٪ فى الجرانيت و ٤٦٪ فى البازلت و ١٧,٦٪ فى الصخور

الصلصالية . وقد يتمثل الكالسيت بنسبة تبلغ نحو ٩٣٪ فى الصخور الجيرية . ويوضح الجدول الآتى النسب المئوية التقريبية لبعض المعادن الرئيسية فى مجموعات صخور قشرة الأرض .

المعـــادن	الصخور النارية		الصخور الرسوبية		
	الجرانيت	البازلت	الحجر الرملى	الصلصال	الصخور الجيرية
الكوارتز	٪٣١,٣	٪ –	٪٦٩,٨	٪٣١,٩	٪٣,٧
الفلسبار	٥٢,٢	٤٦,٣	٨,٤	١٧,٦	٢,٢
الميكا	١١,٥	–	١,٢	١٨,٤	–
معادن الصلصال	–	–	٦,٩	١٠,٠	١,٠
الكلوريت	–	–	١,١	٦,٤	–
الهورنبلند	٢,٤	–	–	–	–
الأوجيت	نادر	٣٦,٩	–	–	–
الأوليفين	–	٧,٦	–	–	–
الكالسيت والدولوميت	–	–	١٠,٦	٧,٩	٩٢,٨
خام الحديد	٢,٠	٦,٥	١,٧	٥,٤	٠,١
معادن أخرى	٠,٥	٢,٨	٠,٣	٢,٤	٠,٣

ويذكر الأستاذ ليت L. Don Leet [1] بأن نحو ٩٠٪ من أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض تتألف من مجموعة السليكات ، وما الأخيرة إلا اتحاد كل من السليكون والاكسجين مع معدن فلزى أو اكثر . ومن بين أهم معادن السليكات الأوليفين والأوجيت ، والهورنبلند ، والبيوتيت ، والمسكوفيت ، والفلسبار والكوارتز . وعلى أساس اختلاف التركيب

(1) Don Leet L., and Judson S., "Physical geology ". Prentice Hall. (1965). P.36.

الكيميائى للمعادن وخواصها الطبيعية يمكن تصنيف المعادن الى ثمان مجموعات رئيسة تتلخص فى الجدول الأتى :

مجموعات المعادن	أهم أنواعها	خصائصها
المعادن العنصرية	فلزية ذهب - فضة نحاس لا فلزية جرافيت كبريت	نادرة الوجود فى الصخور . تعزى نشأتها الى تمايز الصهير الباطنى ولأثر التفاعلات الكيماوية والضغط الشديد
المعادن الكبريتيدية	بيريت جالينا سفاليريت	قليلة الوجود فى الصخور تتألف من عناصر مثل النحاس والحديد والرصاص والزنك متحدة مع الكبريت
الهالوجينات	هاليت الملح الصخرى سنغايد فلوريت	قليلة الوجود فى الصخور وأهمها الكلوريدات تترسب عادة من محاليل مائيه تكثر فيها أحماض الهالويد
المعادن الاكسيدية والايدركسيدية	اكسيدية الكوارتز العقيق كالسيدونى كوراندوم هيماتيت ايدروكسيد ليمونيت أوبال	عناصر مختلفة متحده مع الأكسجين والماء شائعة الوجود فى الصخور
الكربونات	كالسيت اراجونيت ماجنيزيت دولوميت سيدريت مالاكيت	تتألف من أملاح حامض الكربونيك وتكثر نسبه وجودها فى الصخور
الكبريتات	الجبس . انهيدرايت	من أهم المعادن المكونة للصخور الرسوبية الكيميائية - تتألف من أملاح حامض الكبريتيك
الفوسفات	اباتيت	تتكون كيماويا من فلوريد وكلوريد الكالسيوم وأحيانا نتيجة لعمليات التحول الصخرى
السليكات	أوليفين - أوجيت - هورنبلند ميكا - سربنتين - كوارتز اورثوكلاز - بلاجيوكلاز	عبارة عن ثانى اكسيد السليكون متحدا مع فلزات مختلفة - تعتبر من أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض وأكثرها انتشارا وتؤلف نحو ٨٠ - ٩٠٪ من جملة وزن قشرة الأرض

نماذج لبعض المعادن المكونة
لصخور قشرة الأرض

الذهب : Gold

من مجموعة المعادن العنصرية الفلزية ، وعلى الرغم من ندرة وجوده فى الصخور إلا أنه تبعا لشيوع استعماله فى الزينة وصعوبة الحصول عليه ، أصبح من المعادن الثمينة المهمة فى العالم وقد عرفه الانسان منذ القدم ـ وخاصة فى مصر القديمة ـ واستغله فى أغراض متعددة وبوجه خاص أغراض الزينة ويتألف هذا المعدن من عنصر الذهب ، وكثيرا ما يوجد ممتزجا مع الفضة أو النحاس وبعروق الكوارتز والكلسيت أو مختلطا بالرمال والحصى عندما ينقل بواسطة عوامل النقل المختلفة ويتجمع فى بطون الأودية النهرية

ويظهر الذهب على شكل بلورات مكعبة احيانا وفى شكل خيوط وكتل غير ظاهرة التبلور أحيانا أخرى وتبلغ صلابته ٣ وثقله النوعى ١٩ وهو قابل للطرق والسحب . ولونه أصفر وينصهر بالحرارة بسرعة ولا تؤثر فيه معظم الأحماض

جالينا . Galena

معدن من مجموعة المعادن الكبريتيدية ويتألف أساسا من كبريتيد الرصاص ويختلط به فى بعض الاحيان مع خام الفضة ، ويتميز لون المعدن الخام بالرصاصى الرمادى وبريقه معتم ، وعند خدش سطحه يبدو الخام فى معظم الاحيان أبيض اللون ، وليس له شقوق على سطحه ، وبلوراته غالبا مكعبة النظام وصلابته ٢,٥ ومكسره غير مستوى ، ومن أهم خواصه الطبيعية أنه هش وقابل للكسر Brittle كما أنه ثقيل الوزن ، ويمكن أدراك ذلك بسهولة عند حمل قطعة من هذا المعدن على راحة اليد إذ يبلغ ثقله النوعى ٧,٥ .

الهاليت : الملح الصخرى - Halite or Rock-Salt

من مجموعة الهالوجينات ، ويتركب كيميائيا من كلورور الصوديوم ، ويتبلور فى مكعبات تتشقق أسطحها بسهولة فى قشور موازية للمكعب . إلا أن الملح الصخرى قد يوجد فى الطبيعة على شكل كتل وألياف غير ظاهرة التبلور ، وتبلغ درجة صلابته ٢,٥ ، وكثيرا ما يكون عديم اللون إلا أنه أحيانا يكون رمادى اللون وفى أحيان أخرى قد يظهر أحمر أو أزرق اللون تبعا لنوع المواد الشائبة فيه وهنا يعرف معدن الهاليت بأسماء متعددة منها الهاليت الأحمر الباهت اللون Sylvine والأزرق والأحمر الداكن Carisallite والوردى الفاتح اللون Cryolite . وبريق المعدن زجاجى ، وعند خدشه يظهر مسحوقه أبيض اللون ، ومكسره غير مستوى وثقله النوعى ٢,٥ ويميزه مذاقه الملحى (١).

وقد يظهر الملح الصخرى على سطح الأرض بعد تبخر مياه البحار الضحلة والمستنقعات البحرية Lagoons . كما قد يستخرج الملح من المياه الجوفية الملحية التى تنبثق من باطن الأرض ، كما قد يتجمع الملح الصخرى على شكل قباب ملحية Salt domes وخاصة فى مناطق حقول البترول كما هو الحال فى جنوب تكساس وايران

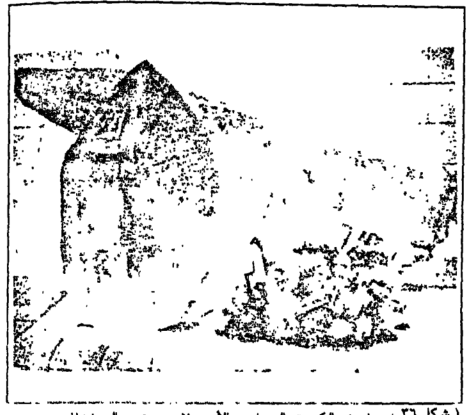
الكوارتز : Quartz

أحد مجموعة المعادن الاكسيدية ويتركب من ثانى أكسيد السليكون ، ويعرفه العرب باسم المرو . والكوارتز النقى لا لون له ، وشفاف أو نصف شفاف ودرجة صلابته ٧ . وعند خدشه يظهر مسحوقه أبيض اللون وبريقه زجاجى وليس به شقوق وأن كان يتمثل فوق الأوجه الرئيسية للبلورات حذوذ خطية متوازية . ومكسره محارى وثقله النوعى ٢,٧ وكثيرا ما يظهر الكوارتز على شكل بلورات سداسية الأوجه . (شكل ٣٦)

---

(1) a - Pellant, c., "Rocks, minerals ... of the world" Pan Books, London (1990) P.75

(ب) حسن صادق « الجيولوجيا » القاهرة ١٩٢٩ .



(شكل ٣٦) بلورات الكوارتز السداسية الأوجه لاحظ تشابه الزوايا المحصورة بين الأوجه البلورية مهما اختلف حجم البلورات ووجود الحدود الخطية المتوازية على الوجه الرئيسي للبلورة

وعندما يمتزج الكوارتز ببعض الشوائب المختلفة يتغير لونه ولكن لا يؤدى ذلك الى تغيير التركيب البلورى للمعدن ومن ثم يمكن أن نميز الكوارتز البنفسجي اللون (يكثر فيه أكسيد المنجنيز) والمعروف باسم الجمشت Amethyst والكوارتز الأحمر أو الأصفر Citrine نتيجة لاختلاطه بأكسيد الحديد ويعرف باسم العقيق Agats والكوارتز الأخضر اللون Green Q نتيجة لاختلاطه بمواد طينية ويعرف باسم اليشب الأخضر Jas-per هذا الى جانب الكوارتز المدخن Smoke quartz والكوارتز الوردى Rose quartz والكوارتز اللبنى Milky quartz . والكوارتز الأبيض والمعروف باسم الكالسيدونى أو العقيق الأبيض Chalcedony (شكل ٣٩) والكوارتز البنى Cairngorm

ويوجد الكوارتز فى الصخور النارية وخاصة فى صخور الجرانيت حيث تبلغ نسبته فيها نحو ٣١٣٪ من جملة وزنها ويعزى تكوينه فى هذه الصخور الأخيرة الى عمليات تمايز الصهير . كما قد يتكون الكوارتز فى مجموعات الصخور الرسوبية بعد تبخر المياه المعدنية التى كانت منحبسة فى الصخر والتى كانت تحتوى على نسبة عالية من ثانى اكسيد السليكون .

ويشيع وجود الكوارتز فى الرمال ، وما الأخيرة فى الواقع إلا عبارة عن حبيبات الكوارتز بعد تفتيت الصخور الذى كان ممثلا فيها بفعل عوامل التعرية والتجوية وتقدر نسبة الكوارتز فى الصخور الرملية بنحو ٨ ٦٩ ٪ وفى الصخور الصلصلية بنحو ٩ ٣١ ٪ وفى الصخور الجيرية بنحو ٧ ٣ ٪ .

الكالسيت Calcite

وهو أحد معادن مجموعة الكربونات ومن ثم فإنه يتركب كيميائيا من كربونات الكالسيوم وينبلور معدن الكالسيت فى أشكال مختلفة ينتمى جميعها لنظام البلورات السداسية الأوجه والتى تظهر فى شكل المعين Rhombohedron كما قد يظهر الكالسيت على شكل تراكيب حبيبية Granula أو ليفية Fibrous وكثيرا ما تشاهد أعمدة الكالسيت الصاعدة والنازلة فى الكهوف الجيرية

ومن أهم خواص الكالسيت أنه يكسر أشعة "ضوء كسرا مزدوجا [١]

---

(١) عندما تسقط الاشعة الضوئية على سطح المعدن فان سرعتها اذا ما نفذت داخل المعدن تبلغ نصف ما كانت عليه فى الهواء كما أنها قد تغير مساراتها الاصلية ويتناسب مقدار الانكسار تناسبا طرديا مع النسبة بين سرعة الضوء فى الهواء وسرعته فى المعدن . فإذا كان معامل الانكسار لمعدن ما يعادل ١,٥ فان الضوء الماء ينفذ خلاله بسرعة تعادل نصف سرعتها فى الهواء . وقد تبين أن لكل معدن معامل انكسار يمكن أن يساعد على تمييزه وعلى سبيل المثال تبين أن معامل انكسار الفلورسبار = ١,٤٣ والكوارتز = ١,٥٤ والماس = ٢,٤٢ . وإذا كان الماس يتميز بقدرته على فصل الالوان المكونة للضوء الابيض فإن معدن الكالسيت أهم ما يميزه الانكسار المزدوج للأشعة الضوئية .

double-refraction ، أو بمعنى آخر إذا وضعت بلورة من الكالسيت فوق قطعة من الورق مرسوما عليها شكل ما ، فان الملاحظ يشاهد المرسوم مزدوجا إذا ما نظر خلال بلورة الكالسيت ، ويتفاعل الكالسيت مع الأحماض وخاصة حامض الايدروكلوريك وينبعث منه فى هذه الحالة غاز ثانى اكسيد الكربون ، ومن ثم يتبقى منه ثانى اكسيد الكالسيوم وهو المعروف « بالجير الحى » Burnt Lime . وإذا أضيف الماء الى الجير الحى يمتص الأخير ثانى أكسيد الكربون من الجو وينجم عن ذلك تصلبه وشدة تماسكه ويعرف الجير فى هذه الحالة باسم الجير المطفى Slaked Lime

ومن الخصائص الطبيعية الأخرى للكالسيت أنه عديم اللون خاصة فى حالة نقاوته وبريقه زجاجى وعند خدشه يظهر مسحوقه أبيض اللون وتتشقق أوجه الكالسيت على شكل أوجه المعين ومكسره مستوى ودرجة صلابته ٣ وثقله النوعى ٢.٧ وإذا تعرض الكالسيت للضغط أو للحرارة أو لكليهما معا يتحول الى الدلوميت ويحتفظ الأخير بمعظم خواص الكالسيت الطبيعية إلا أنه يصبح أشد صلابة منه ويفقد خاصية ازدواج الأشعة [1] .

ويتكون الكالسيت فى الصخور الرسوبية . حيث يترسب فوق السطح مع المياه الجارية . بل ومع المياه الجوفية فى المغارات والكهوف كما قد يترسب الكالسيت بعد تبخر مياه الينابيع والنافورات الحارة الجيرية وتظهر فى هذه الحالة على شكل جسور ومصاطب جيرية وتلال جيرية منعزلة . ويكون الكالسيت والدولوميت معا نحو ١٠,٦ ٪ من وزن الصخور الرملية ونحو ٧,٩٪ من وزن الصخور الصلصلية ونحو ٩٣٪ من وزن الصخور الجيرية .

الجبس : Gypsum

أحد مجموعة الكبريتات ، ومن ثم فإنه يتركب كيميائيا من كبريتات الكالسيوم مع الماء . ويتبلور الجبس فى بلورات واضحة تابعة لنظام أحادى

---
(1) Holmes, C. D., College Geology, N. Y. (1962) P.459.

الميل ، وأحيانا تظهر للجبس بلورات توأمية تشبه رأس الرمح . ويمكن أن نميز أنواع ثانوية من الجبس مثل السيلينيت Selenite وهو عديم اللون وبريقه لؤلؤى ومخدش مسحوقه أبيض وبه مستويان للتشقق ومكسره شظيى وهو شفاف ولين وصلابته ٢ . والألبستر ويعرف فى مصر باسم المرمر المصرى Egyptian Alabaster وعرفه الفراعنة واستخدم هذا المعدن فى صنع أدوات الزينة وبعض التماثيل والأعمدة الفرعونية . وتستغل محاجره حاليا فى وادى سنور بالقرب من بنى سويف . ويتميز المرمر بلونه الأبيض وبريقه اللؤلؤى وبمخدشه الأبيض ، وبتشققه التام ، وبمسكره غير المستوى وباندماج كتلته وتبلغ درجة صلابته ٢ . وهناك نوع آخر من الجبس يعرف باسم ساتنسبار Satinspar وهو الجبس الأطلسى ومن أهم مميزاته تركيبه الليفى الدقيق .

ويذوب الجبس فى حامض الايدروكلوريك بعد تسخينه ويستخرج منه المصيص ، وذلك عند تسخين الجبس فى أفران تبلغ درجة حرارتها ١٠٠ أم . ويستخدم الجبس فى صناعات متعددة كطلاء الأبنية و الأسمنت والأسمدة ويدخل فى بعض الصناعات الكيماوية .

الأباتيت : Apatite

أحد مجموعة معادن الفوسفات وأكثر معادن هذه المجموعة انتشارا ويتركب كيميائيا من فلوريد أو ايدروكسيد الكالسيوم . ويتميز الأباتيت بألوانه البنية الخضراء والبيضاء وبريقه زجاجى ، ومخدشه أبيض وعديم التشقق ومكسره غير مستوى وثقله النوعى ٣,٢ وصلابته ٥ وتتخذ بلوراته أشكال المنشور السداسى (١) .

ويعتبر هذا المعدن من أهم المواد التى تدخل فى صناعة الأسمدة ويستغل من مناطق متفرقة فى مصر ومن أهمها فى الوقت الحاضر منطقة السباعية .

---

(1) a- Pellant,c." Roks, Minerals ... of the world" PAN Books, London(1990)

b- Holmes, C. D., College Geology, N. Y. (1962) P.454.

الأوليفين : Olivine

أحد مجموعة معادن السليكات ، ومن ثم فإنه يتركب كيميائيا من سليكات المنجنيز مع الحديد . وقد اكتسب هذا المعدن اسمه تبعا للون الأخضر الزيتونى ، ومن ثم يدخل الأوليفين الأخضر فى صناعة أدوات الزينة ويعرف باسم الزبرجد Peridot إلا أن صلابته تبلغ ٧ أى أقل من صلابة الاحجار الكريمة المهمة مثل الياقوت والالماس (١٠) .

ويتميز الأوليفين ببريقه الزجاجى ومخدشه الأبيض وبتشققه الضعيف وبمكسره المحارى ويوجد غالبا على شكل كتل صغيرة محببة الشكل ويبلغ ثقله النوعى ٣.٣ ويكثر معدن الأوليفين فى الصخور النارية وبوجه خاص فى البزلت حيث يمثل نحو ٧.٦ ٪ من وزن البازلت

الهورنبلند : Hornblende

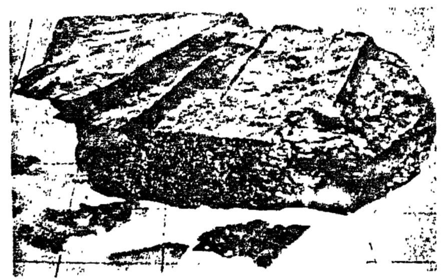
أحد مجموعة معادن السليكات ويتركب كيميائيا من سليكات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد مع قليل من الألومنيوم ويتبلور الهورنبلند فى منشورات تتبع نظام أحادى الميل . ولونه أخضر قاتم أو أسود . ومن ثم يشبه الهورنبلند معدن الأوجيت (الذى ينتمى الى نفس مجموعة السليكات) من حيث اللون ولكن أهم ما يميز الهورنبلند عن الأوجيت أن الأول يتشقق تشققا واضحا فى اتجاهين متوازيين لوجهين من أوجه المنشور ويتقاطعان فى زاوية يتراوح مقدارها من ٥٦° إلى ١٢٤° [1]

ومن بين الخواص الطبيعية للهورنبلند أن بريقه زجاجى ومخدشه أخضر ومكسره غير مستوى وبلوراته طويلة الشكل وصلابته ٦,٥ وثقله النوعى ٣ . ويتمثل الهورنبلند فى الصخور النارية وخاصة الجرانيت والديوريت وبعض الصخور المتحولة ، وتبلغ نسبة الهورنبلند نحو ٢,٤ ٪ من وزن الجرانيت .

الميكا : Mica

من مجموعة السليكات الصفائحية ، ومن ثم يتركب هذا المعدن من سيليكات الألومنيوم مع واحد أو اكثر من اكاسيد البوتاسيوم أو المغنسيوم أو الحديد ،وتتميز قشور الميكا بشدة لمعانها وتوهجها ، بل قد تشبه أحياناً قشور الذهب من حيث اللمعان . ومن ثم أكتسبت الميكا إسمها اللاتينى Micare أى تتوهج to Shine. (شكل ٣٧)

(1) Don Leet and Judson, S., "Physical geology ", N.J. (1965)p.31.



(شكل ٣٧) قطعة من معدن الميكا ويمكن اعتبارها كتاباً يتألف من آلاف الوريقات الرقيقة السمك بعضها يقع بجوار العينة الصخرية القطعة الكبيرة في الصورة .
وتتنوع شفافية الميكا تبعا لسمك وريقاتها الصفائحية

وتتبلور الميكا في أشكال سداسية تتبع نظام أحادى الميل وتتشقق الميكا على شكل صفائح رقيقة السمك جدا وتزداد درجة شفافية الميكا كلما كانت صفائحها غاية في الرقة وتتمثل الميكا بوجه خاص في صخر الجرانيت الذى يتألف أساسا من الكوارتز والفلسبار والميكا وتمثل الميكا نحو ١١.٥ ٪ من جملة وزن الجرانيت كما تتمثل الميكا كذلك في الصخور الرسوبية وتقدر بنحو ٦.٩ ٪ من وزن الصخور الرملية ونحو ١٨.٤ ٪من وزن الصخور الصلصالية وتستخدم الميكا في صناعة بعض الآلات الكهربائية وبدلا من بعض أنواع الزجاج ، وتختلف ألوان الميكا تبعا لتركيبها الكيمائى والشوائب التى تدخل فيها ويمكن أن نميز نوعين رئيسيين من الميكا هما :

أ - الميكا البيضاء : المسكوفيت Muscovite

وتتألف من سليكات الالومنيوم والبوتاسيوم واكتسبت المكيا البيضاء اسمها عندما كانت تستخدم بديلا عن الزجاج في روسيا القيصرية

وخاصة فى مدينة موسكو Muscovy . ومن خصائص الميكا البيضاء أن بريقها لؤلؤى ومخدش مسحوقها أبيض وتشققها تام ومكسرها شظى وهى شفافة Transparnt ، ودرجة صلابتها ٢,٥ وثقلها النوعى ٢,٧ .

ب ـ الميكا السوداء : البيوتيت Biotite

وتتألف من سليكات الألومنيوم مع المغنسيوم والحديد وقد سميت باسم مكتشفها العالم الفرنسى J.B Biot . وتتميز الميكا السوداء بلونها الاسود أو البنى ومن ثم فهى نصف شفافة Translucent وبريقها لؤلؤى الى شبه فلزى ومخدشها أخضر وتشققها تام ومكسرها شظى ودرجة صلابتها ٢,٥ وثقلها النوعى ٢,٨

معادن الفلسبار : Felspar

تتألف هذه المجموعة من المعادن كيميائيا من سليكات الألومنيوم مع واحد أو اكثر من اكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وهى مجموعة هامة من المعادن التى تدخل فى تركيبها صحور قشرة الأرض وتتكون معادن الفلسبار فى الصخور النارية نتيجة لتماير الصهير فى باطن الأرض . وعندما تتفتت الصخور النارية بفعل عوامل التعرية فوق سطح الأرض تنقل معادن الفلسبار وتترسب وتختلط بمفتتات الصخور الرسوبية ومن ثم تكون نسبة كبيرة فيها وتبلغ نسبة الفلسبار فى الجرانيت نحو ٥٢,٣ ٪ وفى البازلت ٤٦,٢ ٪ وفى الصلصال ١٧,٦ ٪ وفى الصخور الرملية ٨,٤٪ وفى الصخور الجيرية ٢,٢ ٪ ويمكن أن نميز نوعين مختلفين من معادن الفلسبار هما :

أ ـ الفلسبار الأرثوكلازى : Orthoclase Felspare

ويتركب كيميائيا من سليكات الالومنيوم مع البوتاسيوم ، وكمثل بقية مجموعة السليكات يتبلور هذا المعدن فى منشورات تتبع نظام أحادى الميل ، ويعد الفلسبار من أهم المعادن المكونة لصخر الجرانيت ويتلون هذا الصخر الأخير بلون معادن الفلسبارات الارثوكلازية ببريقه الزجاجى

ومخدشه الأبيض ويشقق فى اتجاهين يتقابلان فى زاوية قائمة ، ومكسرة غير مستوى ودرجة صلابته ٦ وثقله النوعى ٢,٦ .

ب ـ الفلسبار البلاجيوكلازى : Plagioclase Felspar

ويتركب هذا المعدن كيميائيا من سليكات الألومنيوم مع الصوديوم أو الكالسيوم بدلا من البوتاسيوم . ويتميز بأن بلوراته مستطيلة الشكل تظهر على أوجهها حذوذ توامية Twiming ، وتتبع منشورات بلورات البلاجيوكلاز نظام الميول الثلاثة ، وتتشابه معظم الخصائص الطبيعية للبلاجيوكلاز مع تلك الخاصة بالارثوكلاز سوى أن الأول يبدو أبيض أو رمادى اللون والآخر أحمر اللون . وتبعا لاختلاف التركيب الكيميائى لمعدن البلاجيوكلاز تمكن العلماء من تتميز معادن ثانوية منها الألبيت Albite (فلسبار الصوديوم) والانورثيت Anorthite (فلسبار الكالسيوم) ، والكاولين Kaolin أو كما يعرف باسم الطين الصينى China Clay (سليكات الألونيوم مع الماء) (١) .

الأحجار الكريمة : يطلق العامة على المعادن النادرة الغالية الثمن Pre-cious stones هذا الاسم على الرغم من أنها تتألف أصلا من معادن ومن بينها الزمرد الأخضر اللون Emerald والياقوت الأحمر Ruby والصفير البنفسجى Sapphir والماس Diamond والعقيق بأنواعه Agat والجزع Onyx والمرجنيت Morganite والجمشت Amethyst والكونزيت Kunzite واللازورد Lapis Lazuli واليشب Jade والفيروز Turquoiseوالتورماليين Tourmalineوالزبرجد الزيتونى Chrysolite والكوارتز الوردى Rose Quartz وحجر القمر Moon Stone والعقيق الأحمر garnet والزبرجد الأزرق Aquamarine والتوباز Topaz .

(1) a-- Kirkaldy, J.F., " Minerals and Rocks... " London(1976).

b-- Monadadori, A.G., " The Macdonald Encyclopedia of rocks and minerals ", Macdonald (1986)

c-- Pellant, C "Earth scope", London (1985).

d-- Pellant, C. " Rocks and mineral ... " Pan Book, London, (1990).

الفصل الخامس

الصخـــــور

ليس من الصحيح كما كان شائعا من قبل أن الصخور هي المواد الصلبة التي تدخل في تركيب قشرة الأرض ذلك لأن هناك كثيرا من الصخور تتميز بليونتها ورخاوتها . ومن ثم فقد جرى العرف بين الجيولوجيين على أن الصخور عبارة عن مادة ما تجمع بين طياتها معدنين أو أكثر . وأن كان هذا التعريف ينطبق على أغلب صخور قشرة الأرض فإن هناك بعض أنواع من الصخور لا تتفق مع هذا التعريف .

فكما تبين من قبل بأن هناك بعض المعادن تتألف من عنصر واحد فقط ، فإن هناك كذلك بعض المعادن تتألف هي الأخرى من معدن واحد فقط . ومن بينها الحجر الجيري (الكلسيت) الذي يتركب من كربونات الكالسيوم والجبس الذي يتكون من كبريتات الكالسيوم . ولكن تبعا لحدوث هذه المواد في قشرة الأرض على شكل طبقات أو كتل كبيرة الحجم فإن مظهرها العام يعد أقرب إلى الصخور منه الى المعادن . هذا إذا ما وضعنا في الاعتبار بأن المعدن لابد وأن تكون جميع أجزائه متجانسة وكاملة التناسق ومتشابهة الى حد بعيد ، وهي خاصية لا تتمثل عادة في الطبقات أو الكتل الصخرية الواسعة الامتداد .

وإذا استطعنا تصنيف المعادن الى مجموعات مختلفة وفقا لتباين تركيبها الكيميائي ـ مثل مجموعة المعادن العنصرية والمعادن الكبريتيدية ومعادن الكربونات ـ فإنه من الصعب أن نتبع مثل هذا التقسيم عند تصنيف الصخور . ويرجع ذلك إلى انه قد نصادف صخرين أو أكثر بحيث يتشابه جميعها من حيث التركيب المعدني ، ولكن قد يكون لكل منها خصائصه الطبيعية المميزة ونشأته المختلفة . و قد تسهم عملية تمييز المعادن الى جانب بعض الخصائص الاخرى في تصنيف أنواع مجموعات الصخور . وعلى ذلك فقد أجمع الجيولوجيون على تصنيف صخور قشرة

الأرض بحسب طرائق نشأتها والظروف التى ساعدت على تكوينها الى ثلاث مجموعات كبرى هى :

١ - الصخور النارية : Igneous Rocks

اتخذت هذه المجموعة من الصخور اسمها « النارية Igneous» من الكلمة اللاتينية Ignis أى نار Fire . ذلك لأنها تكونت عند بداية تكوين قشرة الأرض ، وكانت فى بداية حالتها الأولى منصهرة ولزجة وشديدة الحرارة ، ثم اخذت تبرد بالتدريج وكونت الغلاف الصخرى الأصلى لقشرة الأرض . ولا تزال هذه الصورة تعيد نفسها من جديد تبعا لانبثاق المصهورات النارية من باطن الأرض عبر الشقوق والفوهات البركانية وتنساب على سطح الأرض وتكون الصخور النارية بعد أن تتعرض للبرودة .

ويطلق بعض الجيولوجيين على هذه المجموعة اسم الصخور الأولية Primary Rocks ذلك لأنها أول صخور ظهرت على سطح الأرض وأنها الصخور الأولية التى تكونت منها قشرة الأرض . فى حين يطلق البعض الآخرعليها اسم « الصخورالمتبلورة» Crystalline ذلك لأن القسم الأكبر من هذه المجموعة الصخرية والذى يتكون أسفل قشرة الأرض يتعرض للبرودة التدريجية التى تساعد على تبلور معادن الصخر . ومن بين نماذج الصخور النارية الجرانيت والبازلت والديوريت والدولوريت والاندسيت والبريدوتيت والسربنيتين والجابرو .

٢ - الصخور الرسوبية : Sedimentary Rocks

سميت هذه المجموعة من الصخور بهذا الاسم لأنها تتكون جميعا نتيجة لعمليات الارساب . وحيث تتجمع المواد الرسوبية عادة على شكل طبقات متعاقبة فوق بعضها البعض ، فيطلق الجيولوجيون عليها اسم **الصخور الطباقية** Stratified Rocks ، فى حين يطلق البعض الآخر عليها اسم **الصخور الثانوية** Secondary Rocks لأنها تكونت فى مرحلة تالية بعد تكوين الصخور النارية الأولية الأصلية و لأن القسم الكبير منها عبارة عن

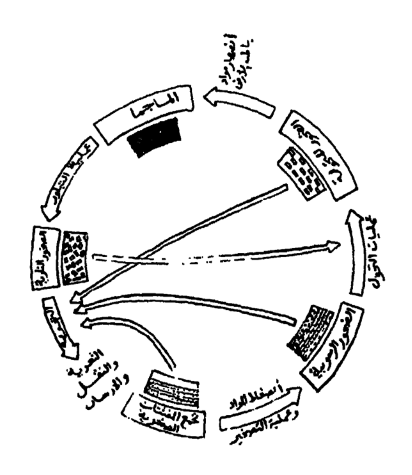
حطام وفتات الصخور النارية الأولية ، أو عبارة عن مواد وبقايا حيوانات ونباتات بحيث أدت عوامل النحت والنقل والارساب الى تكوين هذه المجموعة الثانوية من الصخور . ومن بين نماذج هذه المجموعة من الصخور ، والأحجار الرملية والصخور الطينية والجيرية .

٣ ـ الصخور المتحولة : Metamorphic Rocks

وهى عبارة عن مجموعة من الصخور كانت بداية نشأتها تنتمى إلى اى من الصخور النارية أو الصخور الرسوبية ، ولكن نتيجة لتعرض الصخور للحرارة الشديدة أو للضغط الشديد أو لكليهما معا ، تحولت الصخور الأصلية الى مجموعة صخرية أخرى جديدة اكتسبت من جراء هذه العمليات الطبيعية خواص طبيعية وكيميائية جديدة ومن ثم يطلق عليها اسم الصخور المتحولة ومن بين نماذج هذه المجموعة الصخرية النيس Gneiss (متحول عن الجرانيت) . والشيست الميكائى Mica Schist (متحول عن الصخور الطينية) والأردواز (متحول عن الصخور الطينية) والرخام (متحول عن الكلسيت)

ومن ثم يتضح أن هذه المجموعات الثلاث من الصخور ترتبط فيما بينها ارتباطا كبيرا فيتمثل أصل صخور قشرة الأرض فى المصهورات النارية والماجما واللافا نتيجة لعمليات انصهار المواد الباطنية فى جوف الأرض . وعندما تتعرض الماجما للبرودة التدريجية داخل جوف الأرض تتعرض لعمليات التبلور . ثم ينجم عنها بعد ذلك تكوين الصخور النارية ، وعند ظهور هذه الصخور الأخيرة فوق سطح الأرض تتعرض لعمليات التجوية والتعرية والنقل ثم بواسطة الارساب تتجمع المواد المفتتة وحطام الصخور الأولية على شكل طبقات مترسبة . وبفعل ثقلها فوق بعضها البعض وعند تعرض الصخور الرسوبية الثانوية والصخور النارية الأولية لعمليات الضغط والحرارة الشديدين تتكون الصخور المتحولة . وتعرف هذه العملية الطويلة البطيئة التى بدأت أولى دوراتها منذ بداية ميلاد قشرة الأرض ، والتى لا تزال دوراتها مستمرة حتى اليوم باسم الدورة الصخرية (١) The Rock Cycle .(شكل ٣٨)) .

(1) Stokes, W.L., and Judson S., " Introduction to geology ", N.Y. (1968), p.33.



(شكل ٣٨) الدورة الصخرية

أولاً - الصخور النارية : Igneous Rocks

الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية :

تتشكل الصخور النارية بخصائص طبيعية متعددة ، البعض منها يمكن أن يساهم فى عمليات تمييز الصخور النارية عن غيرها من المجموعات الصخرية الأخرى ويلاحظ أنه من الصعب أن تتخذ خاصية واحد كأساس لتقسيم الصخور النارية الى مجموعات مختلفة بل يحسن

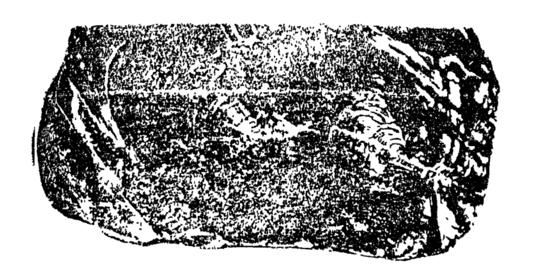
أن يعتمد التقسيم على عدة خصائص طبيعية مجتمعة . وتتلخص الخصائص الطبيعية العامة للخصور النارية فيما يلى :

١ ـ اللون : Colour

تختلف ألوان الصخور النارية من صخر إلى آخر . ومن الصعب أن يتخذ اللون فقط كأساس لتصنيف الصخور النارية وتمييزها ذلك لأن هذه الصخور ذات ألوان متعددة . فبعض الصخور النارية فاتحة اللون Light-Colour ، فى حين أن هناك بعض الصخور النارية الأخرى تتميز بألوانها الداكنة Dark-Colour وفيما بين هاتين المجموعتين نلاحظ مجموعة ثالثة متوسطة تختلف ألوانها بين الألوان الرمادية والحمراء

٢ ـ الثقل النوعى : Specific Gravity

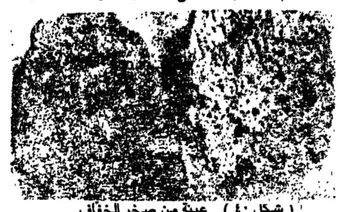
إذا فحصنا الصخور النارية من حيث اختلاف ثقلها النوعى يتبين أن بعضا منها يتميز بأن ثقله النوعى اكبر من غيرها ويمكن القول بأن الثقل النوعى للصخور النارية يتراوح من ٢ ٣ الى ٣.٣ ، ولكن اغلب مجموعات الصخور النارية يتراوح ثقلها النوعى من ٢ ٢ إلى ٧ ٢ فى حين القليل من أنواع الصخور النارية يزيد ثقلها النوعى عن ٣.٣ ومن الملاحظات الهامة يتبين أن الصخور الثقيلة الوزن فى مجموعة الصخور النارية هى التى تتمير بالألوان الداكنه فى حين تلك التى تتميز بقلة ثقلها النوعى يغلب عليها الألوان الفاتحة ولكن لا تنطبق هذه القاعدة تماما على جميع أنواع الصخور النارية وعلى سبيل المثال نجد أن صخر الزجاج الطبيعى (أوبسيديان Obsidian) يتمير بلونه الداكن ومع ذلك لا يزيد الثقل النوعى لهذا الصخر البركانى عن ٢.٤ (شكل ٣٩) . كما أن صخر الخفاف من الصخور النارية ، ومع ذلك يطفو فوق سطح الماء لخفة ثقله النوعى ، حيث يدخل فى تكوينه نسبة عالية من الغازات التى تنحبس داخل فجوات هذا الصخر البركانى (شكل ٤٠) .



(شكل ٣٩) صخر الزجاج الطبيعي - أوبسيديان - وهو يشبه أسطح الزجاج ، ويتميز بلونه الداكن ، ومع ذلك فإنه قليل الثقل النوعي . أما نسيجه فزجاجي ، ومكسره محاري كمثل مكسر الكوارتز .

٣ - النسيج الصخرى : Texture

يقصد بالنسيج الصخرى خصائص حجم الجزيئات المكونة للصخور وكيفية ترتيب هذه الجزيئات داخل الصخر . أو بمعنى أخر معرفة خصائص شكل وحجم وترتيب وتوزيع المعادن المكونة للصخر .



(شكل ٤٠) عينة من صخر الخفاف

ومن نتائج الفحص الطبيعى لحبيبات وجزيئات الصخور النارية يتبين أن بعضا منها يتكون من جزيئات ووحدات صغيرة وبعضها الآخر مكون من جزيئات مختلفة الحجم . ومن ثم فإن هناك أنواعا من الجزيئات الصخرية صغيرة الحجم ومتجانسة الى حد كبير فى حين أن بعض الجزيئات الصخرية الأخرى غير متجانسة النسيج .

ويشبه بعض الصخور النارية المتجانسة الجزيئات صخر الزجاج الطبيعى وتنعكس الأشعة الضوئية على أسطحها ولذلك يعرف نسيجها باسم نسيج الأسطح الزجاجية Glassy Surface فى حين نجد أن أسطح البعض الآخر من هذه الصخور النارية المتجانسة الأجزاء معتمة وكأنها غطيت بطبقة قاتمة اللون ومن ثم يعرف نسيج الصخر باسم نسيج الأسطح المعتمة أو المتلبدة Matte Surface

أنواع النسيج الصخرى تبعا لاختلاف حجم الحبيبات التى تتألف منها الصخور النارية وتنوع ترتيبها واختلاف المظهر الخارجى للصخر يمكن أن نميز الأشكال الآتية

أ . **نسيج خشن الحبيبات : Coarse-grained Taxture** يطلق هذا التعبير على الصخر الذى يمكن أن نرى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة وعندما ينظر الفاحص الى قطعة من هذا الصخر باستخدام عدسة مكبرة يلاحظ أن كل بلورتين يتداخلان مع بعضهما البعض Interlocking Crystals . ويختلف حجم البلورة الواحدة فى الصخر من $\frac{1}{16}$ من البوصة الى عدة بوصات ولكن يقصد الجيولوجى بتعبير النسيج الصخرى الخشن الحبيبات ، الاشارة الى الصخور التى تتألف من بلورات كبيرة وقد تكون متجانسة الحجم Equigranular texture ويعد الجرانيت من أكثر الصخور النارية الخشنة الحبيبات شيوعا فوق سطح الأرض . ومن ثم يطلق البعض على مثل هذا النسيج الصخرى تعبير النسيج الجرانيتى Granitiod texture . ويجب أن نضع فى الاعتبار بأن مثل هذه البلورات الكبيرة الحجم الكاملة التبلور لا تتكون إلا على أعماق بعيدة من سطح الأرض ، وبحيث

تتعرض موادها المنصهرة لبرودة تدريجية بطيئة تساعد البلورات على أن تتكون بصورة كاملة Holocrystalline.

ب - **نسيج دقيق الحبيبات** Fine-grained texture ويطلق هذا التعبير على الصخر الذى لا يمكن أن ترى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة ، بل ترى باستخدام الميكروسكوب . أى أن الصخر مجهرى البلورات Micro Crystalline وتتميز أسطح الصخور الدقيقة أو المجهرية الحبيبات بأنها قاتمة متلبدة . ومن أهم العوامل التى لا تساعد على تكوين البلورات فى الصخر بصورة كاملة تعرض مواد الصخر للبرودة الفجائية وبسرعة مما لا يعطى الوقت اللازم لأن تتم عملية التبلور بصورتها البطيئة التدريجية

جـ - **نسيج زجاجى** : Glassy texture يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور العديمة البلورات non crystalline وتتمير أسطحها بشدة لمعانها ومن ثم تشبه الأسطح الزجاجية . وتختلف ألوانها من اللون الأحمر الى اللون الأسود ومن أمثلتها الصخر الرجاجى الطبيعى البركانى ويتضح من شكل أسطح هذه الصخور ومظهرها الخارجى العام Structure بأنها انسابت على سطح الأرض بعد انبثاقها وخروجها من باطن الأرض . ومن ثم تعرضت للبرودة الفجائية السريعة التى لم تمنح الصخر فرصة من الوقت لتكوين بلوراته

د - **نسيج بورفيرى** : Prophyritic Texture يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التى تتألف من بعض البلورات المعدنية الكبيرة الحجم نسبيا (تعرف باسم فينوكريست Phenocrysts) (١) والمبعثرة فى محيط أعظم من البلورات المعدنية المجهرية المكونة لمادة الصخر . ومعنى ذلك أن مواد الصخر تعرضت لفترة محدودة لعمليات البرودة التدريجية .فإذا كان الصخر شبه سطحى أى تكون بالقرب من سطح الأرض ، ثم انبثق فوق سطح الأرض فقد يظهر الصخر بالنسيج البورفيرى حيث تكون بعض مواده نجحت فى أن تكون بلورات فى حين أن بعضها الآخر لم يكن قد تعرض بعد لعمليات التبلور . (شكل ٤١) .

---

(١) تعبير - Pheno مشتق من الكلمة اليونانية Phainein† ومعناها « واضح أو ظاهر » .



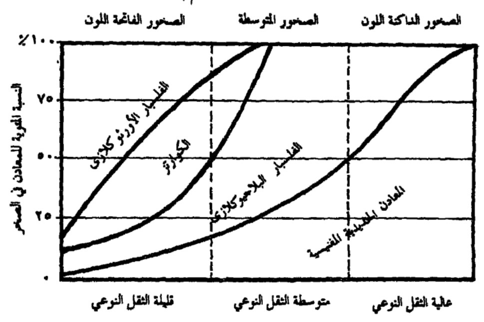
(شكل ٤١) ثلاثة اشكال مختلفة للنسيج الصخرى البورفيرى يتضح فيها اختلاف حجم حبيبات الفينوكرست المتبلورة والمكونة هنا من الفلسبار والمبعثرة فى مواد نارية غير متبلورة .

٤ ـ التركيب المعدنى للصخور النارية :

تساعد معرفة التركيب المعدنى على تفسير اختلاف ألوان الصخور ومعرفة الخصائص العامة لمجموعات الصخور النارية والى حد ما تمييز بعضها عن البعض الآخر . فعند فحص الصخور الجرانيتية الخشنة الحبيبات ، **الفاتحة اللون** ، يتضح أنها تتألف من نسبة محدودة من المعادن الحديدية المغنيسية ، ويغلب فيها تكوين معادن أخرى مثل الميكا والامفيبول والكوارتز والفلسبار الاورثوكلازى والبلاجيوكلازى . وفى الصخور النارية الخشنة الحبيبات الداكنة اللون لا يتمثل فيها الكوارتز أو الفلسبار الاورثوكلازى فى حين يكثر فيها الفلسبار البلاجيوكلازى والمعادن الحديدية المغنيسية وخاصة الأوجيت والأوليفين . وفى الصخور النارية الخشنة الحبيبات المتوسطة اللون تحتوى غالبا على قليل من الأورثوكلاز والكوارتز ونسبة مرتفعة من البلاجيوكلاز (بحيث يتركب

بنسب متساوية من الأبيت والأنورثيت) وكذلك بعض المعادن الحديدية المغنيسية Ferro-magnesian وخاصة الهورنبلند والأوجيت .

ومن ثم يمكن القول بأن هناك تناسقا واضحا بين الاختلاف المعدنى فى الصخور وبين ألوانها العامة وثقلها النوعى وكثافتها النسبية . فتتميز المعادن الحديدية المغنيسية بارتفاع كثافتها وبزيادة ثقلها وبألوانها الداكنة ، فى حين تتميز معادن الفلسبار الاورثوكلازى بقلة كثافتها ووزنها وبألوانها الفاتحة . وتحتل مجموعة معادن الفلسبار البلاجيوكلازى مركزا متوسطا (١) من حيث التركيب المعدنى (شكل ٤٢) .



(شكل ٤٢) تصنيف الصخور النارية حسب اختلاف أنواعها ومعادنها وثقلها النوعى

هذا ويلاحظ بأنه لا يمكن أن نحدد التركيب المعدنى للصخر بواسطة العين المجردة أو باستخدام العدسة المكبرة اليدوية ، ولكن يتم ذلك بواسطة الفحص الميكروسكوبى بعد وضع عينات من الصخور النارية وسحقها والصاقها فوق الشرائح الزجاجية .

(1) Stokes W. and Judson, S., " Introduction to geology ", N.Y. (1963) p.39.

وحيث تتكون الصخور النارية فى باطن الأرض وتتميز بشدة حرارتها وأنها تتألف أصلا من الماجما المنصهرة فإنها لا تحتوى على حفريات . وحتى إذا سقطت كائنات ما فى مواد الصحور النارية المنسابة على سطح الأرض ، فسرعان ما تنصهر داخل مواد الصخور النارية ولا يتبقى لها اى رمز يدل على وجودها .

تكوين الصخور النارية ونشأتها :

تتكون الصخور النارية من الماجما المنصهرة Molten Magma داخل باطن الأرض ، وعندما تندفع الماجما وتظهر فوق سطح الأرض كما هو الحال عن طريق البراكين فتعرف فى هذه الحالة باسم اللافا Lava أو اللابا . وفى باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض قد تتعرض الماجما للبرودة التدريجية وتتكون الصخور النارية بأشكال مختلفة من بينها العروق والسدود النارية ، واللاكوليث ، والفاكوليث ، والباثوليث . أما فوق سطح الأرض فقد تكون اللافا أشكال متعددة من تكوينات الصخور النارية ومن بينها المخروطات البركانية والهضاب البركانية ، والمفتتات الصخرية النارية Pyroclastic debrisوالبريشيا البركانية Volcanic breccia والغبار البركانىVolcanic dust .

وعلى ذلك يمكن القول بأن المصدر الرئيسى لمواد الصخور النارية هى مصهورات الماجما فى باطن الأرض . ويعبر الاستاذ دون ليت [١] Don Leet عن ذلك بقوله :

" **All igneous rocks were formed from the solidification of magma** "

ولكن تتشكل مجموعات الصخور النارية تبعا لعمليات البرودة التى تعرضت لها مواد الماجما ، ومن ثم ينبغى أن نشير فى هذا المجال الى عملية تبلور الصخور النارية .

عملية التبلور الصخرى : Crystallization

الماجما فى باطن الأرض عبارة عن سائل منصهر من الأيونات عند

(1) Don Leet L., and Judson, S., (Physical geology). Prentice Hall, (1965)p.63.

درجة حرارة مرتفعة جدا . وعندما تتعرض مواد الماجما المنصهرة لعمليات البرودة التدريجية تنكمش وتتقلص وتعطى الفرصة لتكوين الاجزاء المعدنية ، وخلال فترات متعاقبة تكبر هذه الأجزاء من حيث الحجم وتؤدى فى النهاية إلى تكوين البلورات المعدنية الكبيرة الحجم. وبتجميع البلورات مع بعضها البعض وتداخلها فيما بينها تكون الصخور النارية.وعلى ذلك تختلف مجموعات الصخور النارية من مجموعة إلى أخرى تبعاً لعاملين رئيسيين هما:

(أ) التركيب الكيميائى والمعدنى للماجما فى باطن الأرض.

(ب) مراحل عمليات البرودة التى تعرضت الماجما لها.

وعلى سبيل المثال نلاحظ أن بعض الماجما قد تكون غنية من حيث تكوينات الحديد والمغنسيوم، فى حين يرتفع فى بعضها الآخر نسبة السليكون والألومنيوم. وعندما تتعرض الماجما المؤلفة من المواد الحديدية المغنيسية لعمليات البرودة، فإن الصخور النارية التى تنجم عن ذلك غالباً ما يرتفع فيها نسبة وجود المعادن الحديدية ـ المغنيسية.

فى حين إذا تعرضت الماجما المؤلفة من السليكون والألومنيوم لعمليات البرودة فإن الصخور النارية التى تنجم عن ذلك غالباً ما تكون من معادن الفلسبار والكوارتز . ولذلك من الصعب جداً أن تتشابه لافا بركانية بأخرى لبركان آخر بل قد لا تشابه لافا البركان الواحد فى فترة ما مع لافا منبثقة منه فى فترة أخرى.

وتبلغ درجة حرارة اللافا الحديدية ـ المغنيسية فى حالة إنصهارها نحو ٢٠٠٠° ف (١١٠٠°م) فى حين كانت درجة حرارة اللافا الغنية بالسليكون والتى انبثقت من فوهة بركان اتنا فى عام ١٩١٠ تتراوح من ١٦٠٠° ف إلى ١٨٣٠° ف (٩٠٠° ـ ١٠٠٠°م) ، وينصهر صخر الجرانيت عند هذه الحرارة العالية.

وقد تتألف الصخور النارية من تداخل بلورات معدن واحد مع بعضها البعض ، أو من تداخل بلورات لمعادن سليكية مختلفة وخاصة الأوليفين والأوجيت والهورنبلند والبيوتيت والأنورثيت والألبيت والأورثوكلاز

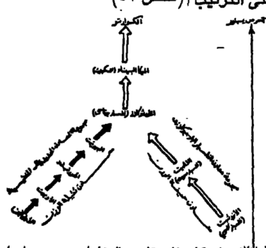
والمسكوفيت والكوارتز.

واكتشف العالم بوين N,L.Bowen[1] فى عام ١٩٢٢ قانون التفاعل الكيميائى ووجد أن السليكات تترتب فى مجموعتين مختلفتين من التبلور . وتبين أن أى معدن فى كل من هاتين المجموعتين المختلفتين مشتق من المعدن الذى تكون قبله داخل نطاق المجموعة وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية.وتعرف هاتان المجموعتان من سلسلتى التفاعل الكيميائى لمعادن الصخور النارية باسم قانون بوين للتفاعل

Bowen's Reaction Series

وتعرف المجموعة الأولى من المعادن المتبلورة باسم مجموعة المعادن الحديدية المغنيسية الثقيلة الوزن. وأول من يتبلور فى هذه المجموعة معدن الأوليفين ثم يليه بعد ذلك الأوجيت والهورنبلند والبيوتيت على الترتيب ثم الأورثوكلاز ويتبلور بعد ذلك كل من المسكوفيت والكوارتز.

وفى المجموعةالثانية والتى تتألف من معادن الفلسبار البلاجيوكلازى الخفيفة الوزن، يذكر بوين بأن الأنورثيت هو أول معادن هذه المجموعة تعرضاً للتبلور حيث يتبلور هذا المعدن عند درجات حرارة تشبه تلك التى يتبلورعندها الأوليفين فى مجموعة المعادن الحديدية - المغنيسية. ثم يتبلور بعد ذلك كل من الألبيت والفلسبار الأورثوكلازى والمسكوفيت والكوارتز على الترتيب ، (شكل ٤٣)



(شكل ٤٣) ، قانون التفاعل حسب دراسات بوين .

ومن ثم يتضح بأن هذه المعادن لا تتبلور من الماجما المنصهرة كلها على مرحلة واحدة، بل يتبلور كل معدن منها عند درجة حرارة معينة وتحت ظروف طبيعية وكيميائية خاصة تؤدى إلى تكوين المعدن وتبلوره وتميزه عن بقية مواد الماجما . ويتضح من دراسات بوين كذلك بأن كل المعادن التى تتكون من الماجما داخل باطن الأرض قد تتحول فى نهاية الدورة وتؤدى إلى تكوين الكوارتز .ولكن نادراً ما تتم المعادن عملية تبلورها بصورة كاملة، وهذا يفسر من ناحية أخرى أسباب تنوع التركيب المعدنى للصخور النارية. ومن أسباب عدم تكملة دورة التبلور تسرب بعض الغازات الطيارة Volatiles التى تساعد الماجما على سهولة تحركها وليونتها وامتزاج المعادن بعضها بالبعض الآخر حتى تتم عملية التفاعل الكيميائى.

وتختلف عمليات تبلور الصخر تبعاً لخواص المواد التى تتألف منها الماجما من ناحية والعمق الذى تتبلور عنده الماجما وعمليات البرودة التدريجية والفجائية من ناحية أخرى. وقد تبين بأن الماجما عند ظهورها على سطح الأرض وبحيث تكون درجة حرارتها ٢٠٠٠° ف (١,١٠٠°)، تحتاج إلى أزمنه مختلفة لكى تتجمد كتلتها ، فإذا كان سمكها محدوداً فتبرد فى فترة قصيرة أما إذا كانت كبيرة السمك فإنها تحتاج إلى زمن طويل كل تتجمد أجزاء كتلتها . وقدر الأستاذ دالى Daly الزمن اللازم لتجمد مثل هذه الماجما فى البيان التالى:

سمك الماجما بالأقدام	الزمن اللازم لتجمدها
٣	١٢ يوم
٣٠	٣ سنوات
٣٠٠	٣٠٠ سنة
٣٠٠٠	٣٠,٠٠٠
٣٠,٠٠٠	٣ مليون سنة

(1) Daly . R . A , (Igneous Rocks and the depths of the earth) N. Y (1933) P.61

بعض الحالات التى توجد عليها
الصخور النارية فى الطبيعة

قد تتكون الصخور النارية فى باطن الأرض وتعرف فى هذه الحالة **بالصخور الجوفية أو البلوتونية** [١]. كما قد تظهر الصخور النارية بأشكال مختلفة فوق سطح الأرض، وفى هذه الحالة الأخرى تعرف باسم **الصخور البركانية**[٢] ومن بين أمثلة أشكال الصخور البركانية المخروطات البركانية والهضاب البركانية والغبار والمقذوفات البركانية، وسيأتى الحديث عنها بالتفصيل فى الفصل السادس من هذا الكتاب. أما الصخور الجوفية أو البلوتونية التى تتكون فى باطن الأرض قد تظهر هى الأخرى على سطح الأرض بعد إزالة الطبقات الصخرية التى كانت تقع فوقها بفعل عوامل التعرية أو بعد تعرضها لحركات رفع تكتونية تؤدى إلى ظهورها فوق سطح الأرض. ومن ثم تسهم هذه الصخور الجوفية فى تشكيل الظواهر التضاريسية لسطح الأرض. ومن بين أهم الحالات التى قد توجد عليها الصخور النارية الجوفية فى الطبيعة ما يلى:

١- **العروق النارية** : Sills يطلق لفظ عرق نارى Sill على المصهورات النارية التى تنحصر بين أسطح الطبقات الصخرية بعد اندفاع الماجما من باطن الأرض ، وكثيراً ما تكون هذه العروق أفقية الامتداد . ولكن فى بعض الحالات قد تكون مائلة أو حتى عمودية، إلا أنه فى جميع هذه الأوضاع لابد وأن يكون امتدادها العام موازياً لامتداد أسطح الطبقات التى تداخلت فيها العروق النارية Concordant to bedding

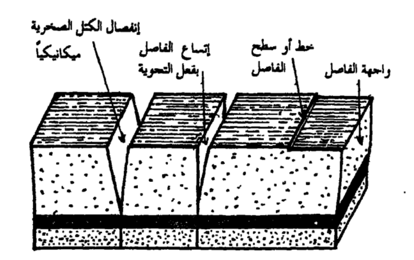
ويختلف حجم العروق النارية من فرشات لافية يقل سمكها عن بوصة واحدة إلى كتل هائلة الحجم والامتداد من اللافا يزيد سمكها عن ١٠٠ قدم . ولابد أن نوضح هنا أوجه الاختلاف بين العروق

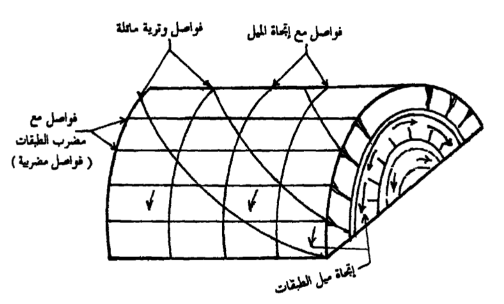
---

(١) تعبير بلوتونى Plutonic أى جوفى مشتق من اسم الإله الإغريقى بلوتو Pluto إله باطن الأرض.

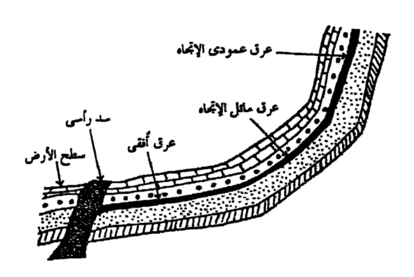
(٢) تعبير بركانى Volcanic مشتق من اسم الإله الإغريقى فالكان Volcan إله النار.

أشكال الفواصل النظامية بالطيات
(الرئيسية) .





شكل (شكل ٤٤) الفواصل النظامية بالطيات الصخرية .



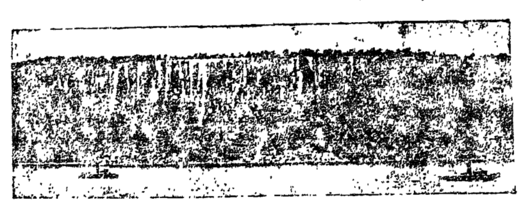
(شكل ٤٥) اختلاف امتداد العروق النارية (من إفقية إلى مائلة إلى شبه راسية)ولكنها فى جميع الحالات تكون موازية لأسطح الطبقات أما السدود النارية فهى عمودية على الامتداد العام لأسطح الطبقات.

الصخرية Sills والفرشات اللافية المدفونة Buried lava flow والأخيرة عبارة عن مصهورات لافية سطحية ثم غطت بالرواسب وانطمرت تحتها وأصبح لها نفس الشكل العام للعروق النارية. غير أنه يتبين أن أسطح الفرشات اللافية المدفونة تتميز بسطحها المموج الذى تكثر فيه كذلك الفراغات الصخرية . وإن دل وجود هذه الفراغات على شئ فإنما يدل على تكوين اللافا فوق سطح الأرض وانحباس الغازات فيها، أما أسطح العروق الصخرية النارية فتتميز بأنها ناعمة ولا تظهر فيها مثل هذه الفراغات الصخرية وإنما يلاحظ فيها انغماس بعض المفتتات الصخرية التى انفصلت من التكوينات الصخرية المجاورة عندما تداخلت فيها العروق الصخرية النارية.

وعندما تظهر العروق النارية على سطح الأرض قد تؤدى إلى تكوين

هضاب مستوية الامتداد تبعاً للامتداد الأفقى للعروق النارية، وفى بعض الأحيان الأخرى عندما تتألف العروق النارية من عدة فرشات لافية متعاقبة وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة طبقات صخرية أخرى قد تؤدى إلى تكوين المدرجات الصخرية Rock Terraces

ومن بين أظهر أمثلة العروق النارية الأسوار الجانبية لنهر هدسون والمعروفة باسم الباليسيد The Palisades. وتظهر هذه الأسوار النارية على شكل حافات رأسية تكوت أصلاً من عرق نارى هائل الامتداد والسمك فى صخور العصر الترياسى. ويتألف هذا العرق النارى من الدياباز Dia-base والجابرو Gabbro وعلى الرغم من أن هذه المصهورات النارية هى مواد لعرق نارى أفقى إلا أنها تبدو وكأنها كتل عمودية. ويعزى المظهر العمودى الظاهرى للعرق النارى إلى نجاح نهر هدسن فى شق خانق نهرى عميق له فى الفرشات النارية من جهة وإلى تأثير الشقوق العمودية Columnar Jointing التى تكونت فى مواد العرق النارى أثناء عملية برودة مواده من جهة أخرى (شكل ٤٦)



(شكل ٤٦) العروق النارية على جانبى نهر هدسن بالولايات المتحدة الأمريكية - لاحظ الشقوق الرأسية التى قطعت العرق النارى، وجعلته يظهر وكأنه مكون من «طبقات» نارية عمودية الميل.

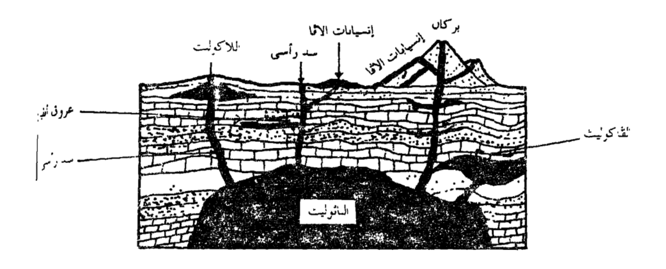
٢- السدود النارية : Dykes

وهى عبارة عن مظهر من مظاهر انبثاقات الماجما من باطن الأرض

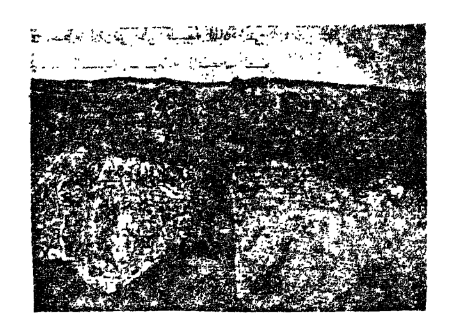
واندفاعها رأسياً لتتداخل فى طبقات القشرة الأرضية، وتتكون السدود بالقرب من سطح الأرض وقد تظهر أطرافها العليا أيضاً فوق سطح الأرض وتختلف السدود عن العروق النارية فى أن الأولى تكون عمودية على امتداد الطبقات التى تتداخل فيها Discordont to bedding ومن ثم فهى لا تتوافق مع الامتداد العام للطبقات بختلاف العروق النارية (شكل ٤٧)

ويختلف سمك السد النارى من بضع بوصات إلى بضع مئات من الأقدام . وعلى سبيل المثال يبلغ سمك سد مدفورد Medford النارى بالقرب من بوسطن ـ ما سا تشوست ـ نحو ٥٠٠ قدم ، فى حين يقل سمكه عن ذلك كثيراً فى بعض المواقع الأخرى. ومن الصعب اكتشاف السدود النارية إلا بعد إجراء الدراسات التفصيلية الجيولوجية فى المناطق المختلفة أو بمساعدة عوامل التعرية التى تعمل على إزالة الطبقات اللينة وإظهار مثل هذه السدود النارية. وعلى الرغم من أن سمك بعض السدود النارية قد لا يكون محدوداً إلا أنها قد تمتد لسافات طويلة. ففى جزيرة أيسلند يمتد كثير ن السدود النارية لمسافة تزيد عن ٣٠ ميلاً ، بل يوجد بهذه الجزيرة بعض السدود النارية التى يمتد كل منها لمسافة ٦٥ ميلاً. أما فى غرب اسكتلند وجنوبها فقد تمتد السدود النارية لبضع مئات من الأميال فيما بين جزيرة سكاى Sky شمالاً إلى جزيرة أران Aran جنوباً (شكل ٥١ أ، ب).

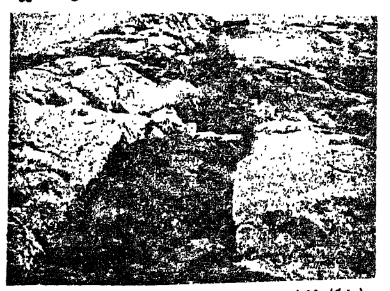
ويوضح (شكل ٤٨) السدود النارية الرأسية البازلتية المتداخلة فى صخور نارية جرانيتية وأخرى رسوبية فى منطقة ماساتشوست بالولايات المتحدة الأمريكية .وفى هذا الشكل يظهر السد الرأسى فى وضع عمودى على أسطح الطبقات بينما فى شكل ٥١ب يظهر السد الرأسى وهو ممتد فوق سطح الأرض)



(شكل ٤٧) ، بعض الاشكال التى تتخذها المصهورات النارية بالقرب من سطح الأرض و فوقة .



(شكل ٤٨) : السدود النارية الرأسية المتداخلة فى الصخور.



(شكل ٤٩) : السدود النارية الرأسية وهى فى هذه الحالة ظاهرة على سطح الأرض.

وتتـوقف أشكال الظواهر التضاريسـية الناجمة عن السـدود الرأسية فوق سطح الأرض على خصائص المادة التى تتألف منها السـدود واختلاف صلابتها بالنسبة لصلابة الطبقات الصخرية التى تداخلت فيها . فإذا كانت السدود الرأسية النارية أشد صلابة من الصخور التى تداخلت فيها ، فإنها تبقى على شكل حواف رأسية عالية بعد أن تعمل عوامل التعرية على نحت الصخور اللينة المجاورة لها . أذا كانت مواد السدود النارية أقل صلابة من الصخور التى تداخلت فيها، فإن عوامل التعرية تعمل على نحتها وتآكلها وقد تظهر السدود فى هذه الحالة على شكل خنادق طويلة تمتد مع امتداد السدود النارية نفسها.

٣- الكتل القبابية اللافية الكبرى : Batholiths [١]

وهى التى تعرف باسم الباثوليث وهى عبارة عن كتل قبابية لافية هائلة الحجم ويزداد حجمها فى اتجاه باطن الأرض بحيث يصعب تحديد قاعدة تلك المواد اللافية. وعندما تظهر مواد الباثوليث على سطح الأرض فإنها تغطى حيزاً لا تقل مساحته عادة عن ٤٠ ميلاً مربعاً.

- والباثوليث فى الواقع عبارة عن خزانات هائلة للماجما ولكن تعرضت لعمليات البرودة، وأصبحت كتل نارية هائلة الحجم. وعندما تتعرض الباثوليث لحركات رفع من أسفل إلى أعلى قد ترتفع أعاليها إلى عدة آلاف من الأقدام فوق مستوى سطح البحر الحالى. وبذلك تتعرض أعالى الباثوليث لعوامل التعرية المختلفة التى تعمل بدورها على تآكل الأجزاء الضعيفة جيولوجياً فيها وإزالتها. ومن بين نماذج كتل الباثوليث القبابية الكبرى ، كتل ويكلو Wicklo والباثوليث الجرانيتية فى مرتفعات جوديث Judith Mt بولاية منتانا. ويرجع معظم الجيولوجيين سبب ظهور الباثوليث على شكل قباب هائلة الحجم ، إلى اندفاع اللافا أو الماجما إلى أعلى تحت الضغط والحرارة الشديدين، وصهر الصخور الأخرى التى تصادف الماجما، ومن ثم تتكون قبة لافية أو جرانيتية كبرى تخترق الصخور الأخرى وتمزق بنيتها، وقد يتكون على جوانب القبة الكبرى

اكوام قبابية صغيرة الحجم نسبياً يطلق عليها اسم القباب الدائرية الصغيرة Stocks or Bosses. ومن بين أظهر أمثلة الباثوليث التى تعرضت لعوامل التعرية ما يشاهد فى بعض أجزاء من مرتفعات وايت White Mts فى نيو هامبشير، وبمرتفعات سيرانيفادا حيث تظهر قباب يوسميت الكبرى Yosemite ـ فى كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية - وقد تأثرت بشدة بفعل عوامل التعرية التى عملت على تسوية منحدرات القباب، وأصبحت المنطقة شديدة التضرس قبابية المظهر (شكل ٥٠)



(شكل ٥٠) المظهر القبابى لقباب الباثوليث فى منطقة يوسميت فى كاليفورنيا.

ويمكن أن نسجل الملاحظات الهامة الآتية عن قباب الباثوليث:

أ ـ يرتبط وجود الباثوليث بالسلاسل الجبلية الكبرى فى العالم ويندر مشاهدتها فى مناطق لم تتعرض للإلتواءات أولحركات الطى والثنى من قبل، كما أنه ليس من الضرورى أن تتمثل الباثوليث فى جميع المناطق الالتوائية. ويمكن القول بأن قباب الباثوليث يزداد حجمها كلما كانت حركة الالتواءات عنيفة والسلاسل الإلتوائية هائلة الارتفاع.

ب - تمتد قباب الباثوليث فى اتجاهات موازية للاتجاه العام للسلاسل الجبلية التى تداخلت فيها.

جـ - تظهر قباب الباثوليث عادة فى مرحلة متأخرة بعد إتمام تكوين السلاسل الجبلية - أى بعد أن تنجح عوامل التعرية فى إزالة الطبقات اللينة وإظهار كتل الباثوليث. ولكن قد تتعرض هذه السلاسل الجبلية لحركات رفع تكتونية من جديد بعد ظهور قباب الباثوليث على سطح الأرض.

د - تتميز أعالى الباثوليث بشكلها القبابى تبعاً لتعرض اللافا المنصهرة لعمليات البرودة السريعة نسبياً واختلاطها بالمفتتات الصخرية التى كانت تتمثل فى المنطقة قبل اندفاع اللافا والماجما فيها.

هـ - تتألف الباثوليث غالباً من الصخور الجرانيتية، والجرانوديوريتية (جرانيت + ديوريت).

و- يعتقد بعض الجيولوجيين بأن الباثوليث تكتسب حجمها الكبير عندما تنجح فى صهر الصخور الأصلية المنطقة التى اندفعت فيها.

ز- يتنوع حجم الباثوليث من منطقة إلى أخرى ، وعلى سبيل المثال يلاحظ أن الباثوليث فى المرتفعات الساحلية بألسكا وكولومبيا البريطانية يبلغ طولها نحو ١١٠٠ ميل، ويتراوح عرضها من ٩٠ إلى ١٢٠ ميل ، فى حين تلك فى مرتفعات سيرانيفادا بكاليفورنيا لا يزيد طولها عن ٤٠٠ ميل ويتراوح عرضها من ٤٠ إلى ٧٠ ميل.

وقد تبرد الماجما فى باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض على شكل قباب نارية أقل حجماً بكثير من قباب الباثوليث وإذا كان السطح العلوى لهذه القباب محدباً أى على شكل كتل هلالية محدبة فتعرف باسم اللاكوليث (١) Laccolith. أما إذا امتدت المصهورات النارية بين الطبقات الصخرية على شكل « أطباق مفلطحة أو مقعرة أى على شكل كتل هلالية مقعرة فتعرف فى هذه الحالة باسم الفاكوليت . Phacolites

وعلى الرغم من أن كمية المواد المنصهرة التى تتألف منها الفاكوليت واللاكوليث محدودة بالنسبة لقباب الباثوليث، إلا أن سمكها الظاهرى قد يكون كبيراً ويمثل ظاهرة واضحة على سطح الأرض، فقد تتكون اللاكوليث من فرشات نارية محدودة السمك تنحصر بين الطبقات الصخرية المنثنية المحدبة، وبعد إزالة الطبقات الصخرية اللينة بفعل عوامل التعرية تظهر قباب اللاكوليث على سطح الأرض وقد احتلت حيزاً كبيراً تبعاً لظهور الامتداد الأفقى أى السمك الظاهرى لموادها وليس السمك الحقيقى - الامتداد الرأسى - للاكوليث. ومن بين أجمل أمثلة اللاكوليث ما يتمثل فى مرتفعات هنرى لاسال Henry La Sal ويمرتفعات اباجو Abajo فى جنوب ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية (شكل ٥١).



(شكل ٥١) إحدى قباب اللاكوليث وتشكيل منحدراتها بفعل عوامل التعرية.

كما ينجم عن الفاكوليت تكوين مناطق حوضية واسعة المساحة على سطح الأرض خاصة إذا ما تعرضت التكوينات الصخرية التى كانت تعلوها لفعل عوامل التعرية.وقد تتخذ الطفوح النارية المنبثقة من أعماق بعيدة من باطن الأرض شكل حلقات من المصهورات النارية تحصر بينها الصخور الأخرى ويطلق على مثل هذه الظاهرة اسم اللابوليث Lapoliths.

تصنيف الصخور النارية

وبعض نماذج لأنواعها المختلفة

يمكن تصنيف الصخور النارية إلى مجموعات مختلفة على أساس اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته أو على أساس تنوع التركيب الكيميائى لمعادن الصخر أو على أساس اختلاف ألوان الصخر ومظهره الخارجى . ولكن أنسب هذه التقاسيم ذلك الذى يعتمد على كل الخصائص الطبيعية للصخر النارى. وفيما يلى محاولات مختلفة لتصنيف مجموعات الصخور النارية.

أولاً: بحسب اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته :

حيث إن المعادن المتبلورة وغير المتبلورة تدل على الظروف التى صاحبت نشأة الصخور النارية، فليس من الغريب أن تساهم هذه الخاصية فى تصنيف مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس اختلاف نسيج الصخور النارية ومظهرها الخارجى يمكن أن تميز المجموعات الآتية:

١- الصخور النارية الكاملة التبلور:

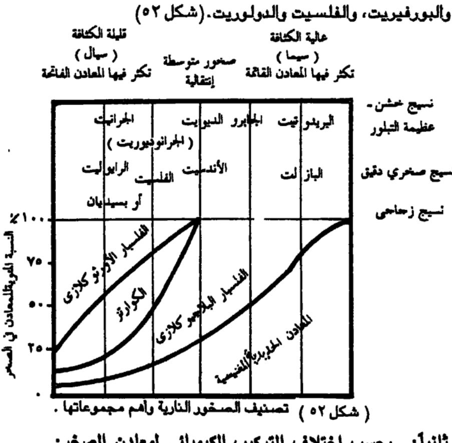
وهى التى تتكون فى باطن الأرض، وتتعرض معادنها للبرودة التدريجية ومن ثم استطاعت أن تكون بلورات معدنية كاملة التبلور. وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور داخل جوف الأرض فتعرف الصخور باسم الصخور النارية الجوفية العميقة Deep-Seated or Plutonic Rocks

ب - الصخور الزجاجية المظهر:

وهى التى تتكون فوق سطح الأرض ، حيث تتعرض معادنها للبرودة الفجائية ومن ثم لا تتكون فيها البلورات المعدنية. وتتميز هذه الصخور بمظهرها الزجاجى وتعرف كذلك باسم الصخور الطفحية أو البركانية Volcanic

جـ - الصخور النارية البورفيرية المظهر:

يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التى تتميز بأن بعض معادنها تكون متبلورة ومبعثرة فى محيط من معادن غير متبلورة ، ويعزى تبلور بعض معادن هذه الصخور وعدم تبلور بعضها الآخر إلى برودة الماجما بالقرب من سطح الأرض ثم ظهورها على سطح الأرض قبل أن تتم عملية التبلور تماماً . وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور بالقرب من سطح الأرض وعلى أشكال العروق والسدود النارية فتعرف الصخور كذلك باسم الصخور النارية تحت السطحية أو المتداخلة Interme-diate or Intrusive hypabyssal Rock ومن بين أمثلتها البورفير، والبورفيريت، والفلسيت والدولوريت.(شكل ٥٢)



(شكل ٥٢) تصنيف الصخور النارية وأهم مجموعاتها .

ثانياً: - بحسب اختلاف التركيب الكيميائى لمعادن الصخر:

قد لا يهتم بعض الكتاب بأهمية التركيب الكيميائى لمعادن الصخور النارية عند تصنيف هذه الصخور إلى مجموعات مختلفة ذلك لأنه قد

يكون هناك من الصخور النارية عينتان متشابهتان من حيث التركيب الكيميائى غير انهما قد يكونا مختلفتين من حيث المظهر الخارجى والنسيج الصخرى والوان الصخر. وإذا وضعنا فى الاعتبار بأن عدد المعادن الأساسية التى تدخل فى تركيب قشرة الأرض لا يزيد عن عشرة معادن فقط، وأن الصخور النارية بوجه خاص تتألف أساساً من ثانى اكسيد السليكون مع اكاسيد اخرى فلزية ولا فلزية لتبين لنا الأهمية الكبرى الخاصة بنسبة وجود ثانى اكسيد السيليكون فى مجموعات الصخور النارية . وعلى أساسا اختلاف نسبة ثانى اكسيد السليكون يميز الباحثون المجموعات الآتية من الصخور النارية:

أ- صخور حمضية: Acid rocks

ترتفع فيها نسبة ثانى أكسيد السليكون عن ٦٦٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها الجرانيت (جوفى عميق) والفلسيت (متداخل - وسيط)، والريوليت (طفحى - بركانى).

ب- صخور متوسطة: Intermediate rocks

تتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون فيها من ٥٢ إلى ٦٦٪ من جملة وزن الصخر، ومن بين أمثلها السيانيت والديوريت (جوفية) والبورفوريت (وسيط) والتراكيت والأندسيت (سطحية).

جـ- صخور قاعدية : Basic rocks

تتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون من ٤٠ إلى ٥٢٪ من جملة وزن الصخر، ومن بين أمثلتها الجابرو (جوفى) والدولوريت (وسيط) والبازلت (طفحى).

د- صخور فوق القاعدية: Ultra-basick rocks

وتقل نسبة ثانى أكسيد السليكون فيها عن ٤٠٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها البريدوتيت(جوفى)، واللمبرجيت (طفحى).

ثالثاً: بحسب اختلاف ألوان الصخر ومظهره الخارجى العام:

تكتسب الصخور الوانا مختلفة فى ضوء المعادن التى تدخل فى تركيبها، وعلى أساس إختلاف لون الصخر يقسم الباحثون الصخور النارية إلى المجموعات الآتية:

(١) الصخور النارية الفاتحة اللون:

وهذه المجموعة تتميز بتدنى ثقلها النوعى وتتركب عامة من سليكات الألمونيوم، ومن ثم تعرف باسم السيال Sial وهى صخور حمضية ترتفع فيها نسبة أكسيد السليكون عن ٦٦٪ ومن أظهر نماذج هذه المجموعة من الصخور الجرانيت، والجرانيت الدايوريتىGrano-diorites . ويقدر الباحثون بأن هذين الصخرين يكونان نحو ٩٥٪ من جملة الصخور النارية الفاتحة اللون والتى تتبلور عادة على بعد عشرة أميال من سطح الأرض.

والجرانيت يتألف من معادن الفلسبار الأورثوكلازى والكوارتز والفلسبار البلاجيوكلازى وكمية قليلة من المعادن الحديدية المغنيسية، وهو صخر كامل التبلور إلا انه يختلف من صخر خشن الحبيبات إلى مجموعات مختلفة منه دقيقة الحبيبات، وعندما يتفتت الجرانيت بفعل عوامل التعرية تتحول الميكا والفلسبار فيه إلى المواد الطينية، أما حبيبات الكوارتز الصلبة فتكون ذرات الرمال، وقد استخدم الفراعنة هذا الصخر فى بناء الأعمدة والمسلات الجرانيتية نظراً لصلابته وقابليته للانصقال (شكل٥٣)



(شكل ٥٣) عينة لصخر الجرانيت خشن الحبيبات

أما صخر الديوريت Diorite فهو صخر جوفى يشبه الجرانيت ومن ثم فهو كامل التبلور ولكن تقل فيه نسبة الكوارتز ويدخل فى تركيبه أساساً البلاجيوكلاز،والهورنبلند، وقد أكسبت هذه المعادن الأخيرة الصخر اللون الأسود، كما أصبح ثقله النوعى أكبر من ثقل الجرانيت. وهناك بعض الأنواع الأخرى من الصخور النارية تشبه صخر الجرانيت كيميائياً، ولكن يختلف مظهرها الخارجى عنه كما قد يكون بعضها الآخر عديم البلورات أو داكن اللون ومن بين هذه الأنواع:

الرايوليت: Rhyolite حيث يتميز بنفس التركيب الكيميائى للجرانيت إلا أنه تبعاً لنشأته فوق سطح الأرض مع المصهورات البركانية فإنه صخر دقيق الحبيبات ، زجاجى المظهر ومتوسط اللون.

الأوبسيديان: Obsidian وهو الزجاج الصخرى الطبيعى، ويشبه تركيبه عامة التركيب الكيميائى للجرانيت، ومع ذلك فهو زجاجى المظهر، عديم التبلور تبعاً لتكوينه فوق سطح الأرض، وهو داكن اللون.

حجر الخفاف: Pumice وهو صخر طفحى يتكون فوق سطح الأرض وتعرض للبرودة الفجائية،وتكثر الفراغات الصخرية فى الصخر تبعاً لانحباس الغازات فى مواده عندما تعرضت لعمليات البرودة، ومن ثم يتميز الصخر بخفة وزنه وقدرته على الطوفان فوق سطح الماء، وهو يشبه الجرانيت كذلك من ناحية التركيب المعدنى.

(٢) الصخور النارية الداكنة اللون:

تتميز الصخور النارية الداكنة اللون بأنها أشد ثقلاً وأعلى كثافة من الصخور النارية الأخرى الفاتحة اللون،ويطلق عليها اسم صخور السيما Simaحيث تتألف كيميائيا من سلكيات المغنسيوم ، ومن ثم فهى قاعدية تتراوح فيها نسبة أكسيد السليكون من ٤٠إلى ٥٢ ٪ وعلى ذلك يمكن القول عامة بأن الصخور الحمضية التى تتركب أساساً من الكوارتز والفلسبار تعد فاتحة أو باهتة اللون وخفيفة الوزن ، فى حين أن الصخور القاعدية التى تتركب أساساً من الأوجيت والأوليفين تبدو قاتمة أو سوداء

اللون ، وغالباً ما تكون ثقيلة الوزن. وتؤلف هذه الصخور النارية الداكنة الثقيلة الوزن أرضية المحيطات وخاصة أرضية المحيط الهادى. ويقدر الباحثون بأن نحو ٩٨٪ من جملة حجم اللافا التى بردت على سطح الأرض تتكون من البازلت والأندسيت.

ويتميز البازلت بلونه الأسود الداكن، وتكثر فى سطحه الفراغات والثقوب نتيجة لتصلبه فوق سطح الأرض وانحباس بعض الغازات فى مواد الصخر أثناء عملية برودتها، (شكل ٥٤) ويتركب البازلت من الفلسبار البلاجيو كلازى والمعادن الحديدية المغنيسية ومن بلورات مجهرية . وعندما يتعرض البازلت لعوامل التعرية يتشقق ويتفتت على شكل أعمدة سداسية الجوانب . ومن بين أظهر أنواع نماذج تشقق البازلت العمدانى ما يتمثل فى منطقة بورت رش - أنتريم - بالقسم الشمالى من أيرلندا .



(شكل ٥٤) عينة لصخر البازلت الأسود دقيق الحبيبات

ويشبه الجابرو Gabbro صخر البازلت من حيث التركيب الكيميائى العام حيث يدخل فى تركيبه الحديد والمغنسيوم، ومن ثم فإن ثقله النوعى مرتفع، ولكنه يختلف عن البازلت فى أنه صخر قاعدى، كامل التبلور، خشن الحبيبات تبعاً لتكوينه فى داخل قشرة الأرض.

٣ـ الصخور النارية الوسيطة:

يقع فيما بين مجموعتى الصخور النارية الفاتحة اللون (معظمها حمضية التركيب) وبين الصخور النارية الداكنة اللون (معظمها قاعدية التركيب)، مجموعة ثالثة من الصخور يطلق عليها اسم الصخور الوسيطة من حيث تركيبها المعدنى وكذلك من ناحية نسيجها وألوانها العامة.

ومن بين نماذج هذه المجموعة الوسيطة صخر الأندسيت(١)، وهو صخر نارى دقيق الحبيبات إلا أنه يقع فى مرحلة تتوسط كل من الجرانيت والبازلت. ويتميز الصخر بألوانه المتوسطة وتتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون فيه من ٥٢إلى ٦٦٪ ويتألف من معادن الفلسبار الأورثوكلازى والهورنبلند. وفى بعض الأحيان تكون معادن الهورنبلند والأوجيت داخل صخر الأندسيت بلورات واضحة يمكن رؤيتها بالعين المجردة . (شكل ٥٧ أ، ب)

وينتشر صخر الأندسيت فى المناطق البركانية وخاصة بحلقة النار على جوانب المحيط الهادى، وعندما يتعرض الصخر للبرودة التدريجية يصبح خشن الحبيبات ويتكون صخر آخر يعرف باسم الديوريت Diorite

وهناك مجموعة أخرى من الصخور النارية تعد وسيطة النسيج، أى تقع فى مرحلة متوسطة فيما بين الصخور النارية الكاملة التبلور، وتلك الزجاجية المظهر العديمة التبلور. ويطلق على هذه المجموعة من الصخور اسم المجموعة البورفيرية Prophyritic Series. وإن معرفة الجيولوجى

---

(١) اكتشف هذا الصخر فى بداية الأمر بمرتفعات الأنديز Andes ومنها اشتق الصخر اسمه.

بنسيج الصخور النارية من العوامل الهامة التى تساعده على تصنيفها . فنلاحظ مثلاً أن كلا من الجرانيت والريوليت والأوبسيديان تتشابه جميعاً من حيث التركيب الكيميائى فى حين أنها تختلف فيما بينها من حيث تنوع النسيج الصخرى. ومن بين أهم نماذج هذه المجموعة من الصخور ما يلى:

صخر البورفير: Porphyry

وهو صخر متوسط التبلور نظراً لتكوينه بالقرب من سطح الأرض مع السدود والعروق النارية. ولكن تتألف بلوراته الكاملة أساساً من الأورثوكلاز، وهو يشبه صخر السيانيت من حيث التركيب الكيميائى.

صخر البورفيريت: Porphyrite

وهو صخر متوسط التبلور نظراً لتكوينه بالقرب من سطح الأرض مع السدود والعروق النارية. ولكن تتألف بلوراته الكاملة أساساً من البلاجيوكلاز، ويشبه صخر الديوريت من حيث التركيب الكيميائى. وتتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون فيه من ٥٢ إلى ٦٦ ٪.

وإذا وضعنا فى الاعتبار جميع الأسس المختلفة التى يمكن بواسطتها تصنيف مجموعات الصخور النارية، يمكن أن نحصل على جدول يميز المجموعات الرئيسة للصخور النارية من حيث اختلاف تركيبها الكيميائى وتنوع ألوانها واختلاف نسيجها الصخرى ومدى تبلور حبيباتها[(١)]. ويتضح ذلك من دراسة الجدول الآتى:

---

(١) حسن صادق ، الجيولوجيا ، - القاهرة (١٩٣٠) ص ٤٧ .

- Longwell , C.R. etal, "Outline of Physical Geology, N.Y.,(1947)P.33.

الصخور النارية بحسب تركيبها الكيميائي	نسبة ثاني اكسيد السليكون	اللون	الثقل النوعي	المعادن الأساسية	صخور جوفية	صخور متدخلة (وسيطة)	صخور طفحية بركانية
					كاملة التبلور	بورفيرية المظهر	زجاجية المظهر
الصخور الحمضية	أكثر من ٦٦ ٪	فاتحة اللون	٢,٦٥	كوارتز أورثوكلاز ميكا	جرانيت	فلسيت	ريوليت
الصخور المتوسطة	٥٢ - ٦٦٪	متوسطة اللون	٢,٨٠	أورثوكلاز بلاجيوكلاز هورنبلند	سيانيت ديوريت	بورفير بورفيريت	تراكيت اندسيت
الصخور القاعدية	٤٠ - ٥٢٪	داكنة اللون	٢,٩٠	بلاجيوكلاز أوجيت أوليفين	جابرو	دولوريت	بازلت
الصخور فوق القاعدية	أقل من ٤٠ ٪	سوداء قاتمة اللون	٣,٣٠	أوجيت أوليفين	بريدوتيت سربنتين		لمبرجيت

ثانياً - الصخور الرسوبية

بخلاف الصخور النارية التى تتألف جميعها من مصهورات الماجما الباطنية تتكون الصخور الرسوبية من الرواسب Sediments والمفتتات الصخرية. ويقصد بتعبير الرواسب من الناحية الجيولوجية جميع المواد المفتتة على اختلاف أشكالها وتنوع مصادرها. ومن ثم قد تتألف الصخور الرسوبية من المفتتات الصخرية الحطامية Detrital or Clastic sediments أى نتيجة لتفتت الصخور النارية وغيرها من الصخور الأخرى ثم تتجمع الرواسب وتلتحم جزيئاتها وتؤدى فى النهاية إلى تكوين الصخور الرسوبية الحطامية. كما قد تتألف الصخور الرسوبية من بعض الرواسب الكيميائية Chemical sediments اى نتيجة لتجمع مواد تخلفت بعد تبخر المحاليل التى كانت تحتويها من قبل، وقد تتكون الصخور الرسوبية كذلك من بعض الرواسب العضوية Organic sediments نتيجة لتراكم مواد تخلفت من بقايا النباتات والحيوانات (١).

ويحسن قبل دراسة الأشكال التى تظهر عليها الصخور الرسوبية فى الطبيعة وتصنيفها إلى مجموعات مختلفة أن نشير أولاً إلى كيفية تكوين الصخور الرسوبية وعمليات ترسيب مفتتاتها وموادها، والبيئات الترسيبية أو الطبيعية التى تترسب فيها تلك الفتتات وأثر ذلك فى تنوع أشكال الصخور الرسوبية وتعدد مجموعاتها.

(1) Stockes, W. L," Introduction to geology " , N.J., (1968).

تكوين الصخور الرسوبية وعملية ترسيب مفتتاتها الصخرية

Sedimentation or Depsition

يطلق على العمليات التى تؤدى إلى تكوين الصخور الرسوبية اسم عملية الترسيب، ولكى تتم هذه العملية ينبغى أن يتوفر ما يلى:

(أ) المواد والمفتتات التى ستتعرض للترسب.

(ب) العوامل المختلفة التى تقوم بعملية نقل المواد من مناطق نشأتها الأولى إلى المناطق التى تترسب فيها.

(جـ) القاع أو الموقع أو الحيز الذى ستتجمع فوقه المفتتات.

(د) تماسك المفتتات وامتزاجها بمادة لاحمة حتى تظهر المفتتات فى النهاية على شكل طبقة أو طبقات من الصخور الرسوبية.

(هـ) الزمن اللازم لإتمام هذه العمليات.

وكما تبين من قبل تتنوع مصادر المواد والمفتتات المعرضة لعمليات الترسب. ويمثل المصدر الأصلى فى مفتتات كتل الصخور النارية التى تتحطم إلى فتات صغيرة الحجم بفعل عوامل التجوية والتعرية. وبمساعدة عوامل النقل المختلفة (الأنهار والجليد والرياح والبحار والجاذبية الأرضية) تنقل هذه المفتتات ثم تتجمع وتلتحم أجزاء بعضها بالبعض الآخر، وتؤدى فى النهاية إلى تكوين الصخور الرسوبية، ولكن قد تتفتت كذلك الصخور الرسوبية، بل والمتحولة من جديد بفعل عوامل التجوية والتعرية، وتمر المفتتات بنفس الدورة السابقة الذكر لتكون فى النهاية صخوراً رسوبية جديدة قد يختلف نسيجها وأشكالها عن الصخور الأصلية التى تفتت منها.

وقد يتمثل مصدر المواد والمفتتات فى الرواسب الكيميائية التى تتجمع بعد تبخر المياه التى كانت تحتويها من قبل. ومن بين أمثلة ذلك ترسب الأملاح فوق أرضية المستنقعات بعد تبخر المياه وخاصة فى المناطق المدارية، وتجمع المدرجات السليكية والجيرية حول فوهات النافورات الحارة بعد

تبخر المياه. هذا إلى جانب تجمع مواد ورواسب عضوية، كما هو الحال بالنسبة لطبقات الفحم التى كانت أصلاً أشجاراً وغابات اندثرت وانطمرت تحت الرواسب، وكذلك تكوين الطبقات الجيرية العضوية فوق أرضية البحار والمحيطات تبعاً لتراكم قشور الحيوانات البحرية وهياكلها الجيرية والسليكية.ويلاحظ بأن بعض هذه المواد قد تتجمع فى مكانها In Situ ولكن ينقل معظمها بواسطة عوامل النقل المختلفة إلى مناطق جديدة تتجمع فيها الرواسب. وعلى سبيل المثال تساعد الجاذبية الأرضية على نقل المفتتات الصخرية التى تتحطم عند أعالى الحافات الصخرية (بفعل التجوية وعوامل التعرية)، وتتجمع هذه المفتتات تحت أقدام المرتفعات.وقد تتراكم فوق بعضها البعض وتلتحم جزيئات امسنات الصخرية بمادة لاحمة ما ، ثم تكون طبقة أو طبقات من الصخور الرسوبية الحطامية.كما تعمل المجارى النهرية على نقل المفتتات والرواسب من مناطق أعالى الأحواض النهرية، وقد تتجمع هذه المفتتات لتكون طبقات رسوبية على شكل غطاءات للسهل الفيضى أو طبقات إرسابية دلتاوية، وطبقات أخرى تساعد فى بناء المدرجات النهرية. وفوق أرضية البحار والمحيطات وبفعل الأمواج والتيارات البحرية، وانحدار قاع المحيط، واندفاع الرواسب العالقة بالمياه من أعلى إلى أسفل، تتجمع المواد والمفتتات على شكل طبقات رسوبية قد يكون بعضها من أصل حطامى وبعضها الآخر من أصل عضوى. ويختلف سمك كل طبقة تبعاً لمدى حجم المواد التى دخلت فى تركيب الطبقة الإرسابية وطول الزمن الجيولوجى الذى كانت المواد تتجمع خلاله.

وتتجمع المفتتات والمواد فى بيئات ترسيبية مختلفة Sedimentary en-vironments or facies يلاحظ بأن لكل من هذه البيئات الترسيبية مواد ومفتتات خاصة تتجمع فيها وتميزها عن غيرها . ومن ثم أصبح من السهل على الباحث الجيولوجى أن يدرك خصائص البيئة الترسيبية والظروف الطبيعية التى كانت سائدة إبان فترة تجمع فتات الصخر وذلك من دراسة أشكال الطبقات ومدى سمكها ،وحجم المفتتات الصخرية وخصائص نسيج الصخر ونوع حفرياته.

وعلى أساس الوسط التى تجمعت فيه المواد (سواء أكان ذلك فوق سطح الأرض أو أرضية البحار والمحيطات) وعوامل النقل والإرساب (مثل الرياح والأمواج والمجارى النهرية والثلاجات) والخصائص العامة للصخر يمكن تمييز مجموعات البيئات الترسيبية الآتية:

أولاً: البيئات القارية : Continental environments

ويقصد بذلك تراكم المفتتات والرواسب فى بيئات ترسيبية مختلفة فوق سطح الأرض. ويمكن أن يميز الباحث بيئات ترسيبية ثانوية متعددة من بينها:

أ - **بيئة صحراوية : Desert facies** وتتكون رواسب الصخر فى هذه الحالة من الطين الرملى والحصى ورمال الكثبان الرملية والأملاح التى تتبقى بعد تبخر المحاليل التى كانت فيها من قبل.

ب - **بيئة جليدية : Glacial facies** وتتألف رواسب الصخر فى هذه البيئة من مفتتات صخرية مختلفة الحجم والشكل وتتميز بأنها حادة الحواف ومتنوعة المصادر، ومن أمثلتها رواسب الطفل الجليدى.

جـ - **بيئة نهرية : Fluvial facies** وتختلف الرواسب الصخرية المتجمعة فى هذه البيئة فى حوض النهر من جزء إلى آخر. ففى القسم الأعلى من حوض النهر تتميز المفتتات الإرسابية بخشونتها وكبر حجمها فى حين تتميز بدقة حجمها من القسم الأدنى من حوض النهر، وتساهم الرواسب هنا فى بناء الدلتاوات والمدرجات النهرية وأرضية السهل الفيضى.

د - **بيئة المستنقعات : Paludal or Swamp facies** وتتألف رواسب الصخر هنا من الطين والغرين والرمال ، ويغلب على الرواسب اللون الأسود نتيجة لكثرة المواد العضوية فى الصخر، كما قد يتمثل فى الصخر رواسب حديدية فقيرة تعرف باسم حديد المستنقعات Bog iron ore .

ثانياً : البيئات المختلطة والانتقالية

Mixed and transitional environments

قد تتغير البيئة الطبيعية التى كانت سائدة إبان تراكم المفتتات الإرسابية للصخور من فترة إلى أخرى وعلى سبيل المثال قد تتجمع رواسب ومفتتات هوائية صحراوية تتألف بدروها من الحصى والحصباء والرمال ثم قد تتغير ظروف البيئة وتتعرض لفترة زمنية يتميز المناخ فيها بالرطوبة وغزارة الأمطار وعلى ذلك تتجمع رواسب جديدة من الطين والغرين. وبعد فترة زمنية أخرى قد يسود المناخ الجاف من جديد فى البيئة وتتجمع المفتتات الصخرية تحت ظروف البيئة الصحراوية، وتتألف من المفتتات الصخرية المختلطة، وهكذا تختلف أجزاء الطبقة الصخرية الواحدة من جزء إلى أخر تبعاً للبيئة الترسيبية التى تجمعت خلالها الرواسب المختلفة . وعند دراسة مثل هذه الطبقات الجيولوجية غير المتجانسة يدرك الباحث بأن البيئة الترسيبية للصخر لم تكن ثابتة بل كانت بيئة متغيرة.

ومن بين هذه البيئات المختلطة، البيئة الشاطئية Littoral facies ، حيث تتأثر هذه البيئة بانحصار البحرعنها خلال فترة ما ، ثم بانغمارها بمياه البحر خلال فترة أخرى، وعلى ذلك تتنوع الرواسب وتصبح ضمن نطاق البيئات الترسيبية المختلطة. وينطبق نفس الحال على بيئة اللاجون (البحيرات الساحلية) Lagoonal facies والبيئات الدلتاوية Deltic facies ، حيث تتكون التكوينات الجيولوجية لهذه البيئات من طبقات غير متجانسة بعضها من أصل قارى وبعضها الأخر من أصل بحرى، وذلك تبعاً لتذبذب مستوى سطح البحر وتغير البيئة الترسيبية من فترة زمنية إلى أخرى.

ثالثاً : البيئات البحرية : Marin environments

ويقصد بذلك تجمع المفتتات والرواسب المختلفة (الطبيعية والعضوية) فوق أرضية البحار والمحيطات،وقد تبين من الدراسات الجيولوجية المختلفة أن الرواسب والمفتتات فوق أرضية البحار والمحيطات تترتب من حيث اختلاف أحجامها بحسب الأعماق .وعلى هذا الأساس يمكن أن نميز البيئات الكبرى الآتية :

أ - **البيئة البحرية الضحلة : Neritic Facies** وتضم الرواسب البحرية التى تتجمع فوق أرضية البحار ابتداء من خط الساحل حتى عمق ٢٠٠ متر ، أى فوق أرضية الرفارف القارية Continental shelves وتتنوع الرواسب فى هذه المنطقة تنوعاً كبيراً تبعاً لتعدد العوامل المختلفة التى تؤثر فى كمية الرواسب وأشكالها ومصادرها وطرائق إرسابها. وتختلط فى هذه البيئة البحرية الرواسب القارية بتلك البحرية النشأة . وتتميز الرواسب بخشونتها ، ويقل حجم الحبيبات الصخرية عادة كلما بعدنا عن خط الساحل. وتتألف الرواسب هنا من الحصى والحصباء المستدير المفلطح الشكل ومن الرمال والأصداف وهياكل بعض الحيوانات البحرية (١).

ب - **البيئات البحرية المتوسطة والهائلة العمق:**

Bathy-Pelagic and Abysso-pelagic facies

تشمل البيئة البحرية المتوسطة العمق تلك الأعماق التى تنحصر بين نهاية الرفرف القارى وأطراف المنحدر القارى أو بمعنى آخر فيما بين خط عمق ٢٠٠ متر حتى خط عمق ١٢٠٠ متر تقريباً . أما البيئة البحرية الهائلة العمق فتشمل أرضية المحيطات التى تقع على أعماق أبعد من ١٢٠٠ متر.

وفوق هذه المساحات الهائلة الأبعاد والعمق من أرضية المحيطات تتراكم مجموعات متنوعة من الرواسب الدقيقة الحجم يطلق عليها اسم «الأوزOoze» وتختلف كل مجموعة من هذه الرواسب عن الأخرى تبعاً لاختلاف الأعماق وتنوع البيئة الترسيبية. ويمكن أن نميز مجموعتين رئيسيتين من الرواسب تبعاً لتنوع مصادرها وهما:

أ - **الرواسب العضوية : Organic deposits** وتشمل رواسب الأوز الجيرى Calcareous Ooze الذى يتألف عادة من تراكم القشور والهياكل الجيرية لكائنات الجلوبجرينا والبتروبود والكوكوليث. ورواسب الأوز السليكى Siliceous Ooze الذى يتألف من تراكم القشور والهياكل السليكية لكائنات الدياتوم والراديوليرا.

ب - الرواسب غير العضوية : Inorganic deposits ويقصد بذلك كل الرواسب التى تتجمع فوق أرضية البحار العميقة والتى ليست من أصل عضوى. وتبعاً لبعد هذه الرواسب عن خط الساحل وأنها تتكون تبعاً لتجمع المواد غيرالعضوية العالقة بمياه البحر فقد تميزت بدقة حجم حبيباتها، ويغلب عليها الصفة الغرينية أو الصلصالية. وتعد رواسب الصلصال الأحمر Red clay أو الغبار البركانى من أهم رواسب هذه المجموعة وأكثرها انتشاراً.

ويوضح البيان الآتى تنوع الرواسب البحرية فى البيئات المتوسطة والهائلة العمق ومدى الأعماق التى تتجمع عادة عندها.

نوع رواسب الأوز	العمق بالمتر
الأوز البتروبودى	٢٠٧٢
« الجلوبجرينى	٣٦١٢
« الدياتومى	٣٩٠٠
« الراديوليرى	٥٢٩٢
الصلصال الأحمر	٥٤٠٧

الخصائص العامة للصخور الرسوبية
والحالات التى توجد عليها فى الطبيعة

تتشكل الصخور الرسوبية بخصائص هامة تميزها عن غيرها من الصخور الأخرى، وتتلخص هذه الخصائص فيما يلى:

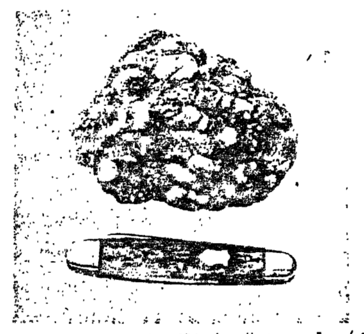
١ـ النسيج الصخرى: Texture

ويقصد بذلك المظهر الطبيعى الخارجى للصخور، وتقدير حجم الحبيبات الصخرية وأشكالها وترتيبها. ويمكن أن نميز نسيجين صخريين مختلفين فى الصخور الرسوبية هما:

١- نسيج الصخور الرسوبية الحطامية الطبيعية: Clastic Texture

يتضح من هذا التعبير أن النسيج الحطامى يرتبط فى نفس الوقت بالصخور الرسوبية الحطامية (الميكانيكية)، وتبعاً لمدى اندماج الحبيبات المختلفة وتداخل بعضها مع البعض الآخر. ويتأثر تكوين هذا النسيج الخاص وفقاً لاختلاف أشكال الحبيبات الصخرية وتنوع أحجامها. وعلى سبيل المثال نلاحظ بأن الطبقة الصخرية الرسوبية التى تتألف من الحصى والحصباء والرمال تظهر على شكل طبقة صخرية خشنة ومحببة السطح وحبيباتها غير منتظمة الترتيب Rubble like Texture ، ومن ثم يطلق على نسيج مثل هذه الطبقات التى تتألف من حبيبات متجمعة ومتماسكة تعبير النسيج الكونجلومراتى Conglomeratic texture) ويتألف صخر المجمعات فى هذه الحالة من حبيبات كبيرة مستديرة الشكل مبعثرة فى مادة لاحمة تتألف من ذرات دقيقة الحجم (شكل ٥٥)

أما الطبقة الصخرية التى تتألف من حبيبات صغيرة مستديرة من الرمال المتجانسة فقط، فيظهر سطحها وكأنه مغطى بحبيبات من السكر ومن ثم يطلق على مثل هذا النسيج الصخرى اسم النسيج السكرى Sugary texture



(شكل ٥٥) عينة من صخر المجمعات (الكونجلوميرات) لاحظ الحبيبات الكبيرة الحجم المستديرة الشكل المتماسكة بواسطة الرمال

ويلاحظ بأن عوامل النقل والإرساب التى تعمل على تكوين الصخور الرسوبية تساهم بدورها فى تشكيل النسيج الصخرى، فتتميز الرواسب الجليدية بأن حبيباتها غير منسقة وغير طباقية وغيرمتجانسة وتنتمى إلى مصادر متعددة أو تكون الحبيبات الصخرية مشتقة من عديد من الصخور التى تظهر فى مناطق بعيدة جداً عن المناطق التى تتجمع فيها الرواسب الجليدية. كما أن حواف الحبيبات الصخرية تكون حادة وخشنة ومشطوفة ومقشوطة الأطراف وذلك بسبب تعرضها لفعل عمليات التجمد والإنصهار freezing and thawing ويطلق على نسيج مثل هذه الطبقات الإرسابية تعبير النسيج البريشى Breccial texture (شكل ٥٦) وعلى هذا الأساس يتضح أن حجم الحبيبات الصخرية وتنوع أشكالها وطبيعة تجانسها، هى أهم العوامل التى تشكل النسيج الصخرى للصخور الرسوبية الحطامية. ويلاحظ بأنه كلما كانت الحبيبات الصخرية صغيرة الحجم تزداد درجة استدارتها فى حين يلاحظ بأن الحبيبات



شكل ٥٦) قطعة من صخر البريشيا تتألف من حبيبات الصوان الفاتحة اللون والمقشوطة الجوانب ومتماسكة بمواد سليكية لاحمة.

الصخرية الخشنة المقشوطة الأطراف غالباً ما تكون كبيرة الحجم. ويرجع ونتوارث مقياسه المشهور باسمه Wentworth Scale لتمييز الحبيبات الصخرية بحسب اختلاف أحجامها، وأثر ذلك في تصنيف مجموعات الصخور الحطامية ، ويتلخص مقياس ونتوارث في الجدول الآتي: (١).

حجم الحبيبات (نصف القطر - ملم)			الأرقام النسبية بين الحبيبات
٢٥٦	الجلاميد	Boulder	٤
٦٤	الحصى	Cobble	١٦
٤	الحصباء	Pebble	٢
٢	ذرات حبيبية	Granule	٣٢
١٦/١	رمال	Sand	١٦
٢٥٦/١	الغرين والصلصال	Dust	الغبار والتراب

ب نسيج الصخور الرسوبية غير الحطامية: Non-clastic texture

يختلف نسيج هذه المجموعة من الصخور عن ذلك في الصخور الحطامية حيث إن الحبيبات الصخرية هنا دقيقة الحجم وكثيراً ما تتماسك الحبيبات الصخرية مع بعضها البعض بشدة، كما أنها في جملتها أعلى تجانساً من حبيبات الصخور الميكانيكية الحطامية، حتى أنها تظهر بنفس المظهر العام الذى تظهر به كثير من الصخور النارية. ومن ثم يعرف نسيج معظم هذه المجموعة من الصخور باسم النسيج البلورى Crystalline texture. وحيث يختلف حجم الحبيبات من صخر إلى آخر، فإنه يمكن أن نميز كذلك النسيج الصخرى الدقيق الحبيبات Fine-grained، والنسيج الصخرى المتوسط الحبيبات Medium graind والنسيج الصخرى الخشن الحبيبات Coarse-grained

---

(١) لكى نحصل على النوع الأكبر من الحبيبات نضرب نصف قطر النوع الذى قبله فى الرقم الموضح بالجدول .

تصخير الرواسب : Lithification

يقصد بعملية تصخير الرواسب أو تحجيرها ، تحويل الرواسب والمفتتات المخلخلة غير المتماسكة إلى طبقة متماسكة وملتحمة الأجزاء. وتتحول المواد والرواسب إلى صخور متماسكة بواسطة عدة طرق من أهمها:

أ ـ عملية اللحام الصخرى : Cementation

يقصد بعملية اللحام الصخرى امتلاء الفراغات بين حبيبات الصخور المختلفة بواسطة مواد لاحمة، ومن بين أهم هذه المواد الأخيرة الكلسيت، والدولوميت، والكوارتز، وإكاسيد الحديد، والأوبال والكالسيدونى Chalce-dony والانهيدريت والبيريت .وتحمل هذه المعادن اللاحمة عادة مع المياه وقد يكون بعضها مذاباً أصلاً فى المياه. وعندما تدخل تلك المياه المعدنية داخل فراغات الصخر وبين حبيباته، تترسب المواد المعدنية اللاحمة، وتعمل على تماسك الصخر والتحام جزيئاته بعضها بالبعض الآخر. وعلى هذا الأساس يمكن القول بأنه كلما كانت الفراغات الفاصلة بين حبيبات الصخر كبيرة ساعد ذلك على سهولة انتقال المياه المعدنية وسرعة إنجاز عملية اللحام الصخرى كما هو الحال فى الصخور الخشنة الحبيبات (الحجر الرملى الخشن الحبيبات والكونجلومرات) . فى حين أنه إذا كانت الفراغات الصخرية صغيرة يؤدى ذلك إلى صعوبة انتقال المياه المعدنية خلالها ، وبطء عملية اللحام الصخرى كما هو الحال بالنسبة للصخور الدقيقة الحبيبات (الطين والصلصال) .

ب ـ التماسك Compaction والتجفيف الصخرى Desiccation

فى حالة الرواسب الدقيقة الحبيبات مثل رواسب الصلصال والسيلت Silt ، حيث تكون الفراغات الصخرية دقيقة الحجم جداً يصبح من الصعب تغلغل المياه داخل فراغات الحبيبات الصخرية. ولكن مع ذلك قد تنجح بعض المواد المعدنية اللاحمة فى أن تحتل مواقع لها داخل الفراغات الصخرية، وتتم عملية تحويل الرواسب إلى كتل صخرية مندمجة عن

طريق عمليتى التماسك Compaction والتجفيف الصخرى Desiccation

وفى عملية التماسك يقل حجم الفراغات الصخرية تبعاً للضغط الواقع على جزيئات الصخر بفعل الرواسب الصخرية التى تجمعت فوقها. ونتيجة لاستمرار عملية الانضغاط الصخرى يقل سمك الطبقة الإرسابية عما كانت عليه من قبل، ويقدر الباحثون بأنه إذا تعرضت رواسب تتألف حبيباتها من الصلصال وتقع تحت عمق ٣٠٠ قدم من الرواسب الأخرى فإن هذه الرواسب تنضغط وتتماسك أجزائها وتلتحم مع بعضها البعض بفعل الضغط الواقع عليها كما يصبح سمكها نحو ٦٠٪ من مثل سمكها السابق لعملية الانضغاط والتماسك.

ويقصد بعملية التجفيف الصخرى تغلغل المياه فى الرواسب المسامية المفككة، ثم انسياب المياه من الرواسب ثانية أو قد تتعرض للتبخر، ومن ثم يصبح سطح الرواسب الرطب معرضاً لعملية التجفيف بمساعدة الهواء ، وقد يؤدى ذلك إلى تماسك جزيئات الصخر والتحام بعضها بالبعض الآخر.

٣- طباقية الصخور الرسوبية : Bedding

أ - الطبقات الصخرية : يتضح مما سبق أن الرواسب والمفتتات الصخرية قد تتجمع وتلتحم مع بعضها البعض لتكون فى النهاية طبقة من الصخور الرسوبية . وقد تستمر عملية الإرساب ويؤدى ذلك إلى تكوين صخور رسوبية هائلة السمك مكونة من طبقات متعاقبة بعضها فوق البعض الآخر. ويمكن أن نحدد الطبقة الصخرية بأنها سمك ما من الصخور، متجانس الأجزاء إلى حد كبير ويميزه عما يقع تحته أو فوق سطحان متوازيان هما أسطح الطبقات Bedding Planes

ويختلف سمك الطبقات الجيولوجية من طبقة كبيرة السمك (يزيد سمكها عن مئات أو آلاف الأمتار) إلى أخرى رقيقة السمك (لا يتعدى سمكها بضعة سنتيمترات) أو صفائحية رقيقة Iaminated كطبقات الصلصال الصفائحى . ويعزى اختلاف سمك الطبقات إلى خصائص

عملية الإرساب ، وحجم الرواسب المتجمعة، والبيئة الترسيبية التى تجمعت إبانها الرواسب. وقد يختلف نسيج الطبقة ومظهرها الخارجى العام ليس فقط عن الطبقات الأخرى الواقعة إلى أعلى أو إلى أسفل منها ، بل كذلك بين الأجزاء المختلفة للطبقة الواحدة. فعندما تتجمع رواسب الطبقة الإرسابية فى بيئة بحرية، يتبين أن القسم الأوسط من هذه الطبقة الذى كان يمثل رواسب المياه العميقة من البحر الجيولوجى القديم يتميز بتجانسه ودقة حجم حبيباته، فى حين أن أطراف نفس هذه الطبقة والتى تتألف بدورها من الرواسب البحرية القارية عند سواحل البحر الجيولوجى القديم تتميز بعدم تجانسها وخشونة حبيباتها.

وفى كثير من الحالات يمكن تمييز أسطح الطبقات لمسافات طويلة، ولكن فى بعض الأحيان قد تتلاشى هذه الأسطح تدريجياً وتتشعب الطبقة الصخرية الواحدة إلى عدة شعب طباقية ثانوية وتتداخل مع طبقات الصخور الأخرى وتعرف هذه الظاهرة بعملية التداخل الطبقى Intercalation

ب - أشكال الطبقات الصخرية :

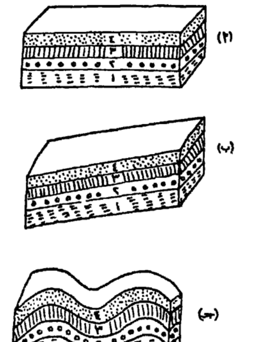
تظهر مجموعات عديدة من طبقات الصخر الرسوبية على شكل طبقات أفقية أو بمعنى آخر تمتد أسطح الطبقات مع الامتداد الأفقى. ولكن تظهر مجموعات أخرى من الطبقات الرسوبية على شكل طبقات مائلة ميلاً بسيطاً، أو ميلاً شديداً ، أو على شكل ثنيات محدبة وأخرى مقعرة ويعزى السبب فى ذلك إلى عاملين رئيسيين هما :

١- شكل إمتداد السطح الأصلى الذى تراكمت فوقه الرواسب فإذا كان هذا السطح أفقى الإمتداد تماماً ينجم عن ذلك تكوين طبقات أفقية فى حين أنه إذا كان له انحدار ما يؤدى ذلك إلى تكوين طبقات مائلة .

٢-مدى تأثر الطبقات الرسوبية بحركات الثنى والطى التكتونية والتى قد تشكل الطبقات التى كانت أفقية أصلاً بأنماط مختلفة من الثنيات الصخرية (شكل ٥٧)

جـ ميل الطبقات Dip
ومضرب الطبقات Strike

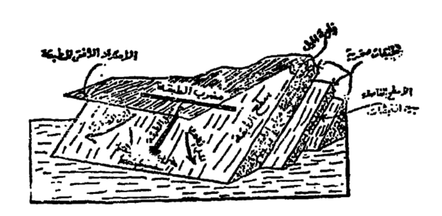
فى حالة الطبقات الأفقية الامتداد تساوى درجة الميل، صفر، حيث يمتد ميل الطبقة مع نفس الامتداد الأفقى للطبقة. ولكن قد تميل الطبقات بدرجات مختلفة عن الامتداد الأفقى للطبقة وتعرف الزاوية الحـصور ـن مستوى الطبقة وامتدادها الأفقى باسم ميل الطبقة Dip وتتدرج زاوية ميل الطبقة Amount or angle of dipمن صفر أى طبقة افقية تماماً إلى ٩٠° أى طبقة رأسية تماماً.



(شكل ٥٧) طبقات رسوبية فى أشـ ـل مختلفة (أ) أفقية (ب) مائلة (جـ) ملتوية

وتقاس هذه الزاوية باستخدام آلة خاصة بسيطة تعرف باسم الكلينو متر Clinometer. وعند قياس ميل الطبقة يجب أن يوضع الكلينو متر فى اتجاه عمودى على الامتداد العام لمضرب الطبقات (الخط العمودى على ميل الطبقة)، ومن ثم يمكن أن نحدد اتجاه الميل . Direction of dip

وإذا قيست زاوية ميل الطبقة فى اتجاه غير عمودى تماماً على مضرب الطبقات فنحصل على نتيجة ليست صحيحة بالنسبة لتحديد ميل الطبقة. ويطلق على ميل الطبقة فى هذه الحالة الأخيرة اسم الميل الظاهرى Apparent dip تمييزاً له عن الميل الحقيقى للطبقة True dip (شكل ٥٨). ويطلق على الخط الوهمى العمودى على الطبقة اسم خط الظهور أو مضرب الطبقات Strike line ويعتبر هذا الخط الوهمى من المناطق الضعيفة جيولوجياً فى الصخر حيث تتشقق الصخور وتتكسر على طول امتداد هذا الخط. ويجب أن نضع فى الاعتبار بأنه يمكن إنشاء مئات بل آلاف من خطوط الظهور للطبقة الواحدة حيث أن كلا منها ما هو إلا اتجاه أى خط عمودى ممتدا على ميل الطبقة.



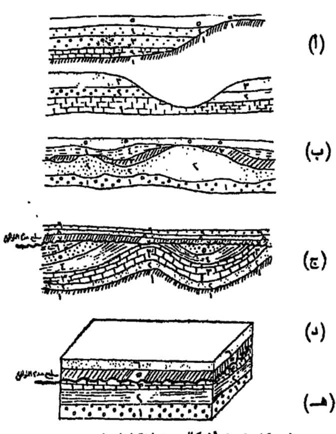
(شكل ٥٨) رسم تخطيطى يوضح الميل الحقيقى والميل الظاهرى للطبقة ومضرب الطبقة

٤- الطبقات المتوافقة وغير المتوافقة:

Conformable and un-conformable beds

خلال عمليات تكوين الطبقات الإرسابية تتجمع الطبقات الأقدم عمراً فى البداية فوق السطح الأصلى الذى تتم فوقه عملية الترسيب، ثم تتجمع الرواسب الأحدث عمراً فوق أسطح الطبقات الإرسابية التى ترسبت قبلها . ومن ثم أدرك الجيولوجيون بأن القاعدة العامة فى عمليات الإرساب هو أن كل طبقة تعد أحدث عمراً من الطبقة التى تقع تحتها وأقدم عمراً من الطبقة الأخرى التى تقع فوقها. وعرف هذا القانون باسم قانون تعاقب الطبقات Law of Superposition كما يطلق على الطبقات فى هذه الحالة بأنها طبقات متوافقة.

وينبغى أن نضع فى الاعتبار بأن الطبقات المتوافقة لا يقتصر تمثيلها فى حالة الطبقات الأفقية فقط، بل قد تتعرض هذه الطبقت الأخيرة لحركات الثنى والطى، وقد تظهر على شكل ثنيات مقعرة وأخرى محدبة، ومع ذلك تظل تحتفظ بتوافق طبقاتها. (أنظر (شكل ٥٩)).



(شكل ٥٩) أشكال مختلفة لطبقات غير متوافقة

ويساعد الباحث فى تحديد الأزمنة الجيولوجية المختلفة التى تكونت خلالها كل من هذه الطبقات دراسته للحفريات التى قد تتمثل فيها ومتابعته لتطور نموها وتفرع عائلاتها المختلفة.

وقد يصادف الباحث فى بعض الأحيان طبقات رسوبية غير متوافقة أو بمعنى أخر لا تترتب طبقاتها ترتيباً منتظماً من أسفل إلى أعلى بحسب العمر الجيولوجى. وقد يعزى عدم توافق الطبقات إلى عوامل متعددة من بينها:

١- ترسيب مواد الطبقات الرسوبية فوق سطح مائل كأن يكون انحدار حوض جيولوجى قديم، ومن ثم تتجمع الرواسب الأولى القديمة فى المناطق السفلى العميقة، فى حين يتراكم فوق الأجزاء العليا الضحلة، الصخور الأحدث عمراً. ويتضح من دراسة (شكل ٥٩ أ) أن الباحث قد

يصادف فى قسم من الصخور أقدم الطبقات (طبقة رقم ١) ثم يليها مباشرة طبقة رقم ٤ دون أن يمر ببقية الطبقات ، فى حين يصادف فى موقع آخرجميع الطبقات متوافقةالترتيب.

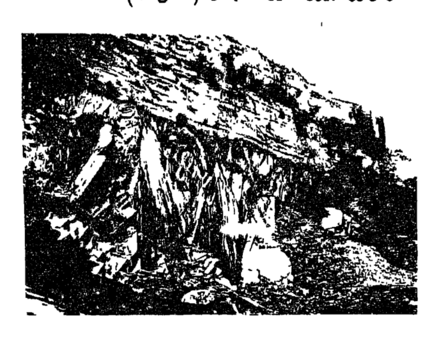
٢ـ فى المناطق التى تتأثر بعمليات تذبذب مستوى سطح البحر أو باختلاف الظروف المناخية، كثيراً ما يلاحظ الباحث أن الطبقة الواحدة تختلف فى تكوينها من جزء إلى آخر، كما يتنوع سمكها الحقيقىTrue thickness من مكان إلى آخر فى نفس الطبقة، وأحيانا أخرى قد تتلاشى الطبقةالصخرية، ثم تبدأ تظهر من جديد فى منطقة أخرى.(شكل ٥٩ ب، ٥٩ جـ) ومن ثم قد يصادف الباحث الطبقة المتقطعة فى الحقل كما يظهر كذلك تنوع أجزاء الطبقة الواحدة إذا قطعت بخانق نهرى ويؤدى ذلك إلى ظهور الطبقات غير المتوافقة.

٣ـ إذا تكونت طبقات رسوبية ثم تعرضت لعمليات الرفع التكتونية، وظهرت على السطح وتشكلت بفعل عوامل التعرية التى أزالت الأجزاء العليا من هذه الطبقات، ثم تعرضت المنطقة بعد ذلك لفترة تكونت خلالها طبقات إرسابية جديدة ترسبت فوق الطبقات الإرسابية الأولى ـ بعد أن أزيل منها بعض أجزائها بفعل عوامل التعرية ـ فينجم عن ذلك نماذج مختلفة من أشكال عدم توافق الطبقات. (شكل ٥٩ د) فقد يصادف الباحث فى موقع ما جميع الطبقات الإرسابية متعاقبة فوق بعضها البعض وتامة التوافق، فى حين قد تختفى بعض الطبقات فى موقع آخر، ويؤدى ذلك إلى تكوين الطبقات غير المتوافقة ويطلق على الحد الفاصل بين التكوينات الصخرية غير المتوافقة تعبير « سطح عدم التوافق » Plane of unconfor- mity.

٤ـ لا يقتصر حدوث الطبقات غير المتوافقة على الطبقات الرسوبية التى تعرضت للثنى والطى،بل قد تتمثل كذلك فى تلك الطبقات الأفقية التى لم تتأثر بمثل هذه الحركات التكتونية. وعلى سبيل المثال إذا تكونت طبقات إرسابية تحت سطح المحيط، ثم انحصرت عنها مياه المحيط نتيجة لانخفاض مستوى البحر ، وبالتالى قد تعمل عوامل التعرية المختلفة على إزالة بعض أجزاء من الطبقات العليا لهذه التكتونيات البحرية، ثم بعد ذلك

تأتى فترة جديدة للإرساب وتتكون طبقات رسوبية جديدة (سواء فوق سطح الأرض أو فى أرضية المحيط) تترسب فوق الطبقات الرسوبية القديمة. وهكذا تكون الطبقات الصخرية غيرمتوافقة فى بعض المواقع، ومتوافقة تماماً فى مواقع أخرى (شكل ٥٩ هـ)

وكثيراً ما تشاهد الطبقات الصخرية غير المتوافقة فى الحقل ومن بين أجمل أمثلتها عدم توافق طبقات ما قبل الكمبرى مع طبقات العصر الديفونى فى منطقة بوكس كانيون Box Canyon بالقرب من أوراى Ou-ray فى كلورادو. ويتضح من دراسة هذه الحالة أن صخور ما قبل الكمبرى تعرضت لحركات تكتونية أدت إلى ميل الطبقات الصخرية بشدة بحيث أصبح الميل قريباً من الزاوية القائمة ثم ترسبت صخور العصر الديفونى فوق صخور ما قبل الكمبرى مباشرة بعد إزالة التكوينات التى كانت واقعة فيما بينهما بفعل عوامل التعرية. وتتكرر نفس الحالة فى مجموعات تكوينات الحجر الجيرى الكربونى غير المتوافق مع الأردواز السليتى فى منطقة أركو وود بيوركشير - انجلترا (شكل ٦٠)



(شكل ٦٠) نموذج لطبقات غيرمتوافقة

٥- خصائص أخرى ثانوية تميز الصخور الرسوبية:

أ- التطابق الكاذب: False-bedding

فى بعض الأحيان تتميز الطبقات الصخرية بالتطابق الكاذب حيث لا يدل مظهر الطبقات الخارجي على تتابع حدوث الطبقات كما قد تنقسم الطبقة الواحدة إلى عدة شعب ولكل منها مظهر خارجي خاص. ويتكون التطابق الكاذب فى حالة تعرض رواسب الصخور للتشكيل بواسطة تيارات مائية مختلفة من حيث الشدة والاتجاه. ومن ثم تظهر الطبقة الصخرية الواحدة كأنها مكونة من عشرات من طبقات لكل منها تموجات صخرية مختلفة. (شكل ٦١)

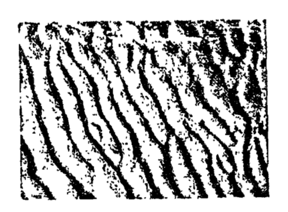


(شكل ٦١) التطابق الكاذب فى صخور الحجر الرملى الأيوسينى فى جنوب شرق مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية

ب - علامات التماوج: Ripple marks

يشاهد أحيانا فوق أسطح الصخور الرسوبية تموجات منتظمة الأشكال، إن دلت على شئ فإنما تدل على الظروف التى أدت إلى تكوينها.

فعندما تنحصر مياه البحر عن الساحل (فى المناطق التى تتعرض للمد والجزر مثلاً) تترك على سطح الرمال والرواسب علامات التماوج، وقد تتعرض الرواسب للتماسك والتجفيف وتحتفظ بهذا السطح المميز لفترة طويلة من الزمن الجيولوجى (شكل ٦٢) وتعمل الرياح فى الصحارى الحارة كذلك على تشكيل أجزاء واسعة من السهول الرملية بمثل هذه العلامات المنتظمة الشكل.



(شكل ٦٢) علامات التماوج فوق صخور الكوارتزيت (صخور متحولة عن الصخور الرملية) فى منطقة مرتفعات بارابو بالقرب

من ويسكونسين بالولايات المتحدة.

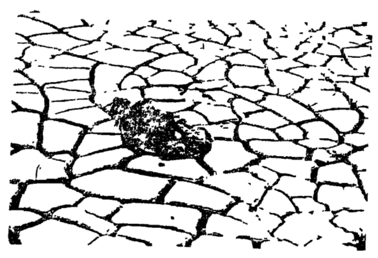
جـ - طابع نقط الأمطار Rain splash cast

تبعاً لسقوط الأمطار بشدة فوق بعض الصخور الرسوبية، قد تحفر الصخور بثقوب مميزة كما قد تشقق بحذوذ طويلة سطحية بفعل المياه الجارية، وعندما يجف الصخر، قد يحتفظ بطابع نقط الأمطار وحذوذ المياه الجارية التى تشكل السطح الخارجى للصخر، ويطلق على مثل هذا الصخر تعبير التركيب الجدولى Rill Structure

د - التشققات الطينية أوالشمسية : Mud or Sun Cracks

عندما تتعرض أسطح الطبقات الطينية للأشعة الشمسية القوية سرعان ما تتبخر المياه وتقل رطوبة الرواسب الطينية، وينجم عن جفاف

الطين انكماشه وتشققه. ويلاحظ بأن الطين يتشقق عادة فى أشكال سداسية الجوانب كمثل شكل خلايا النحل. وفى مرحلة متأخرة قد تمتلأ الفراغات السداسية الشكل الفاصلة بين الطين بواسطة الرمل ومن ثم تعمل هذه الأخيرة كمادة لاحمة تحتفظ بالشكل الظاهرى لسطح الطين لفترة طويلة من الزمن. وإذا امتلأت الفراغات السداسية غيرالمنتظمة الشكل برواسب جيرية لاحمة قد تنفصل أجزاء الطين بعضهاعن البعض الآخر وتصبح على شكل حواجز بارزة، ومن ثم يطلق على الصخر فى هذه الحال تعبير الصخر المفصول (شكل ٦٣). Septaria Stone



شكل ٦٣ : التشققات الطينية فى ارضية دلتا نهر كلورادو

وإذا تعرضت هذه التشققات الطينية لفرشات جديدة من الرواسب تعمل على تغطيتها، فقد تحتفظ هذه التشققات بأشكالها لفترة طويلة جيولوجيا . أما إذا تعرضت هذه التشققات لأمطار غزيرة أو لرياح شديدة فسرعان ماتتلاشى أو يزول مظهرها، وتتعرض أجزاء الصخر الطينى من جديد لعوامل التعرية.

هـ العقيدات الصخرية : Nodules

قد يلاحظ فى بعض الطبقات الرسوبية وجود عقيدات صخرية مستديرة الشكل مبعثرة داخل الصخور ويختلف تركيبه الكيميائى عن

الصخور المدفونة فيها . كما قد تتمثل فى بعض الأحيان على شكل خطوط متقطعة متوازية الامتداد العام لأسطح الطبقات. وتعزى نشأة هذه العقيدات الصخرية إلى تسرب مياه معدنية داخل الصخر، وقد تتجمع المياه حول نواة صغيرة الحجم لأجزاء من بقايا نباتات وهياكل حيوانات. وعندما تتبخر المياه تتراكم الأملاح والمعادن اللاحمة وتعمل على تكوين العقد الصخرية المبعثرة فى الصخور الإرسابية، وتختلف أشكال العقيدات الصخرية كما تتعدد معادنها تبعاً لظروف نشأتها، ويمكن أن نميز منها العقيدات الصخرية الكروية Nodules ، والأخرى البيضاوية Concretions ، ومجموعة ثالثة غير منتظمة الشكل Geodes (شكل ٦٦-أ) .

و- الحفريات : Fossils

يقصد بالحفريات كل مادة تتكون من أصل عضوى سواء أكانت نباتية أو حيوانية، ودفنت لفترة طويلة فى الصخر، واستطاعت أن تحتفظ بنفسها أو صورتها أو طابعها أو بأشكال الأجزاء الصلبة منها فى الصخر على مر الزمن. ومن ثم يساعد على احتفاظ الحفريات فى الصخور أن تدفن البقايا العضوية بعد هلاكها مباشرة فى الصخر حتى لا تتعرض لعوامل التعرية ، كما يحسن أن يكون لهذه البقايا العضوية اجزاء صلبة تقاوم عمليات التفكك والتحلل.

وإذا كانت الصخور النارية لاتتضمن أى حفريات تبعاً لظروف نشأتها فى باطن الأرض فإن الصخور الرسوبية قد تحتوى على حفريات ، أما الصخور المتحولة فقد تحتوى على حفريات إذا ما كانت من أصل رسوبى ولاتحتوى على حفريات إذا ما كانت من أصل نارى . وتساهم الصخور الحاوية على الحفريات Fossiliferous beds على تحديد البيئة الترسيبية التى تكونت خلالها تلك الطبقات ومعرفة الأزمنة الجيولوجية التى ترسبت إبانها، وتقدير موقع تلك الطبقات بالنسبة لبقية المقياس الزمنى الجيولوجى الطويل.

تصنيف الصخور الرسوبية وبعض نماذج لأنواعها المختلفة

جرى العرف بين الجيولوجيين على تصنيف الصخور الرسوبية تبعاً لاختلاف نشأتها وظروف تكوينها إلى ثلاث مجموعات رئيسة تشمل :

١ـ الصخور الرسوبية الميكانيكية أو الحطامية:

Mechanical or Clastic Rocks

ويقصد بذلك مجموعات الصخورالرسوبية التى تتألف حبيباتها تبعاً لتآكل وتحطيم الصخور القديمة(مهما كان نوع نشأتها نارية أو رسوبية أو متحولة). وتساعد عمليات التجوية Weathering والتعرية Erosion على تفتيت الصخور الأصلية إلى أجزاء وحبيبات صغيرة ثم تنقل هذه المفتتات بواسطة عوامل النقل المختلفة إلى أن تتجمع فى النهاية وتتماسك وتتلاحم أجزاء المفتتات بعضها مع البعض الآخر لتكون الصخور الميكانيكية أو الحطامية فى نفس مواقعها التى تفتتت منها . وفى معظم الأحيان الأخرى تتكون هذه المجموعة من الصخور فى مناطق تبعد مسافات طويلة عن مصدر الحبيبات الصخرية المفتتة . ومن دراسة أشكال الحبيبات الصخرية وتركيبها المعدنى يمكن أن يستنتج الباحث كيفية نشأة كل مجموعة من مجموعات الصخور الرسوبية الحطامية. ومن بين أمثلة هذه المجموعة الصخور الحصوية والمجمعات الصخرية ، والصخور الرملية والطينية.

٢ـ الصخور الرسوبية الكيميائية: Chemical Rocks

تتكون هذه المجموعة من الصخور نتيجة لترسيب مركبات معدنية مختلفة بعد تبخر المحاليل المائية التى كانت مذابة فيها، ومن ثم تنتشر مثل هذه المجموعة من الصخور فى المناطق التى تتعرض بشدة لفعل التبخر وخاصة فى الصحارى الحارة الجافة . كما قد تتراكم بعض الصخور الرسوبية الكيميائية حول فوهات الينابيع والنافورات الحارة. ومن أكثر أنواع هذه المجموعة من الصخور شيوعاً الملح والجبس وبعض

أنواع الحجر الجيرى (من أصل كيميائى)، ورواسب الينابيع الحارة والرواسب الجيرية فى الكهوف والمغارات الجيرية

٣- الصخور الرسوبية العضوية : Organic Rocks

تتألف هذه المجموعة من الصخور من مركبات معدنية مصدرها بقايا الحيوانات والنباتات المختلفة. ففى البحار تتجمع بقايا وهياكل الحيوانات البحرية مثل المرجان والدياتوم والراديوليرا، والكوكوليث والفورامنيفرا فوق أرضية المحيط، وبمرور الزمن الجيولوجى تتحول هذه الرواسب إلى صخور الأوز العضوية Organic Oozes السليكية والجيرية . وفوق سطح الأرض قد تسمحل الغابات وتتراكم جذوع الأشجار وتدفن تحت فرشات هائلة من الرواسب ومن ثم تتحول إلى طبقات الفحم وفى بعض الأحيان قد تتكون الصخور الرسوبية ، نتيجة لترسيب كيميائى عضوى بفعل نشاط بعض الحيوانات والنباتات التى تساعد على تشكيل بيئة ترسيبية خاصة بحيث يتكون فيها بعض أنواع المعادن كما هو الحال بالنسبة لحديد المستنقعات Bog-iron ore

نماذج لبعض أنواع الصخور الرسوبية

(أولاً) الصخور الرسوبية الميكانيكية

١- الصخور الحصوية والصخورالرملية :

قد تتألف الصخور الرسوبية من الحصى والحصباء وفتات الصخور الأولية، وفى هذه الحالة تعرف باسم الصخور الحصوية. وكما تبين من قبل حسب مقياس وينتوارث اتفق الجيولوجيون على اعتبار أن الحبيبات الصخرية التى يتروراح قطرها من ٢ـ ١٠ سم تسميتها باسم الحصى Gravels. وإذا كانت أكبر من ذلك حجماً فتعرف باسم الجلاميد Boulders كما أن الرمال تصنف إلى مجموعات مختلفة وفقاً لاختلاف حجم حبيباتها ومنها الرمال الخشنة والرمال المتوسطة والأخرى الناعمة . وإذا كانت الرمال تؤلف التكوين العام للصخر فيعرف الأخير فى هذه الحالة باسم

الصخر الرملى. ولكى يتكون مثل هذا الصخر ينبغى أن تكون هناك مادة لاحمة تعمل على تماسك الذرات الرملية مع بعضها البعض، وإذا كانت المادة اللاحمة من الجير فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى الجيرى Cal-careous Sandstone وإذا كانت المادة اللاحمة من السليكا فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى السليكى Siliceous Sandstones وإذا كانت هذه المادة حديدية فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى الحديدى Ferrugenous Sand-stones

وتختلف صلابة الحجر الرملى من نوع إلى أخر تبعاً لخصائص المادة اللاحمة التى تعمل على تماسك جزيئات الصخر. كما تختلف مسامية الصخر وحجم الفراغات بين حبيباته وفقاً لحجم هذه الحبيبات سواء أكانت متجانسة ومتشابهة الحجم أوغير متشابهة الحجم.

ب - صخور المجمعات المستديرة الحبيبات - الكونجلومرات Conglom-erates

وتتركب هذه الصخور من مفتتات صخرية تتميز حبيباتها بأنها مستديرة الشكل. وتعزى هذه الاستدارة إلى تأثير التعرية المائية النهرية أو البحرية فى تشكيل الحبيبات الصخرية التى تتركب عادة من الكوارتز. وقد تتجمع هذه الحبيبات الصخرية المستديرة الشكل وتندمج وتتماسك مع بعضها البعض بفعل مواد لاحمة مثل السليكا أو كربونات الكالسيوم أوأكاسيد الحديد وتكون الصخر المعروف بالكونجلومرات. وتختلف درجة صلابة الصخر ودرجة مساميته تبعاً لنوع المادة اللاحمة ومدى اتساع الفراغات الصخرية.

جـ - صخور المجمعات الحادة الحبيبات - البريشيا : Breccia

تتفق هذه المجموعة من الصخور مع صخور المجمعات من حيث النشأة وعمليات التكوين إلا أنه فى هذه الحالة يلاحظ بأن الصخر يتكون أساساً من حبيبات حادة الحواف ذات أطراف مدببة ومقشوطة. وإن دل شكل هذه الحبيبات الحادة على شئ فإنما يدل على أنها قد تعرضت لعمليات التجوية الطبيعية وخاصة التمدد والانكماش بفعل اختلاف

درجات الحرارة، أوأنها تشكلت بفعل الرياح أو بفعل الجليد. ومن الدراسة التفصيلية لإشكال هذه الحبيبات وتحديد أنواع الصخور التى تتألف منها وخصائص المادة اللاحمة التى عملت على تماسكها والموقع الذى توجد فيه هذه الصخور يمكن أن يدرك الباحث نشأة صخور البريشيا .

د ـ الصخور الطينية : Argillaceous Rocks

وهى مجموعة الصخور الرسوبية الميكانيكية الدقيقة الحبيبات، حيث يبلغ متوسط قطر الحبيبات الطينية نحو ٠,٠٠٥ ملم. وعندما ترتفع نسبة الرطوبة أو المياه داخل الصخور الطينية يصبح الصخر شديد اللزوجة وحين يتعرض الصخر للجفاف تتماسك حبيبات الصخر، وتلتحم مع بعضها البعض بفعل التماسك والانضغاط، ويصبح صخراً متماسكاً دون حاجة إلى مادة لاحمة.

وإذا كانت الرواسب الطينية متجانسة ومندمجة الأجزاء فقد تؤدى إلى تكوين صخر طينى سميك الطبقات وهو ما يعرف بالحجر الطينى Clay or Mudstone أما إذا كانت كل طبقة رقيقة من الطين تختلف عن الطبقة التى ارسبت قبلها حتى ولو كان اختلافا بسيطاً فى التركيب الصخرى فقد يؤدى هذا إلى تكوين الصخر الطينى الصفائحى Laminated الرقيق السمك.

وتتركب المواد الطينية أساساً من سليكات الألومنيوم تبعاً لتحلل معادن الفلسبار، ولكن يختلط معها بعض المعادن الأخرى بنسب قليلة متفاوتة وذلك مثل الكوارتز والميكا وإكاسيد الحديد وتتشابه جميعاً فى أنها دقيقة الذرات. وتتميز الصخور الطينية باللون الأسود بسبب تحلل نباتات متفحمة من جهة ولكثرة ذرات كبريتور الحديد من جهة أخرى. وفى بعض الأحيان قد تظهر الصخور الطينية بألوان متعددة مثل الأحمر والأصفر والأخضر والبنفسجى وذلك تبعاً لوجود مواد معدنية شائبة فى الصخور مثل اكاسيد الحديد والمنجنيز.

ومن ثم يمكن أن نميز مجموعات مختلفة من الصخور الطينية من بينها **الكاولين** Kaolin المائل إلى اللون الأبيض والمكون معدن الكاولينيت بعد تحلل الفلسبار. ويعرف أحيانا باسم **الطين الصيني** China Clay حيث يستخدم في صنع الأواني الخزفية. وعندما يختلط الطين بالرمال يصبح لونه يميل إلى الاصفرار ويعرف **بالطين الرملي أو صخر اللوم**Loam في حين إذا ارتفعت نسبة كربونات الكالسيوم في الطين فيعرف الصخر باسم **الطين الجيري أو المارل** .Marl وإذا زادت نسبة معدن **المونتموريلونيت** Montmorilionite في الطين فيكتسب الصخر اللون الأخضر. وإذا انخفضت نسبة المواد الجيرية في الطين فإنه يصبح مناسباً لاستخدامه في تبطين الأفران الكهربائية لتحمله درجات الحرارة العالية، ويعرف في هذه الحالة باسم **الطين النارى أو الطين الحرارى** Fire or Refractory Clay

وتبعاً لدقة حجم الذرات الطينية، تتجمع مواد الصخر الطيني في بيئة ترسيبية خاصة. ومن بين أهم مناطق الإرسابات الطينية أرضية الأودية النهرية، والسهل الفيضي وأسطح المدرجات النهرية والدلتا وات حيث تنتقل ذرات الطين بواسطة التعلق بمياه النهر من مناطق المنبع إلى أن تتجمع في الأجزاء الدنيا من حوض النهر، وتدخل في بناء المدرجات والدلتاوات النهرية.

وإذا كانت المواد الخشنة تتمثل في منطقة خط الساحل فإن الرواسب الدقيقة الحجم وخاصة الطين تتعلق ذراتها بالمياه وفي النهاية تترسب فوق أرضية البحار والمحيطات ولكن على أعماق بعيدة مكونة رواسب الصلصال الأحمر. ومن بين أنواع الصخور الطينية وأكثرها شيوعاً في مصر ، غرين أو طمي النيل Nile Silt ويتألف أساساً من سليكات الألومنيوم وأكاسيد الحديد تبعاً لتحلل التكوينات البازلتية في هضبة الحبشة، وتنتقل ذرات الطين بالتعلق في مياه نهر النيل إلى أن تضيف عند كل فيضان سنوى طبقة صفائحية رقيقة فوق طبقات دلتا النيل في مصر. وهناك نوع أخر من الطين يعرف باسم **الطين الأسواني**. ويتمثل في جمهورية مصر

العربية حول مدينة أسوان خاصة ويمثل رواسب طينية كانت مترسبة في قاع بحر جيولوجي قديم. أما طفل إسنا Esna shale الذي يتمثل بوجه خاص قرب إسنا فإنه تبعاً لارتفاع نسبة نيترات الصوديوم في الصخر يستخدم كسماد للأراضي الزراعية

(ثانياً) الصخور الرسوبية الكيميائية

١ ـ الصخور الجيرية الكيميائية Chemically-Formed Limestones

تتكون الصخور الجيرية الكيميائية في عدة صور مختلفة إلا أن أسباب تكوينها يعزى إلى إرساب كربونات الكالسيوم وتراكمها بعد تبخر المحاليل التي كانت تحتويها فقد يتكون [illegible] مياه العيون [illegible] الجيرية والنافورات الحارة كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم الذي تتراكم بدورها حول هذه العيون المائية مكونة [illegible] الجيرية وذلك بعد تبخر المياه التي كانت تحتويها [illegible] هذه الرواسب الجيرية [illegible] مثل رواسب السنتر السيليكي Siliceous Sinter ورواسب الترافرتين Travertine

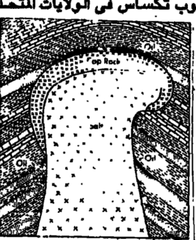
وقد تشاهد رواسب الترافرتين فوق [illegible] الكهوف والمغارات الجيرية كما هو الحال في مغارة جعيتا في لبنان [illegible] في سقف الكهوف الجيرية وأراضيها كذلك فتشاهد **الأعمدة الجيرية النازلة** Stalactites [illegible] نتيجة لتجمع كربونات الكالسيوم من سقف الكهف **والأعمدة الجيرية الصاعدة** Stalagmites التي تشير أطرافها إلى سقف الكهوف. وقد توجد رواسب جيرية متبلورة على شكل عروق نقية من كربونات الكالسيوم مع الماء داخل كتل جيرية أخرى غير نقية ويعرف الصخر في هذه الحالة باسم **الألبستر أو المرمر المصري** The Egyptian Alabaster واستخدم هذا الصخر في صنع بعض التماثيل الفرعونية وأعمدة بعض المساجد الشهيرة مثل مسجد محمد على الكبير بالقاهرة

ب ـ الجبس : Gypsum

عندما يوجد الجبس فى بلورات صغيرة وبكميات محدودة فيعتبر فى هذه الحالة من مجموعة المعادن ولكن إذا تمثلت تكوينات الجبس (كبريتات الكالسيوم مع الماء) فى كتل كبيرة الحجم فتعتبر فى هذه الحالة الأخرى صخوراً، ويتكون الجبس كيميائياً بعد تبخرمياه البحار الضحلة والبحيرات الشاطئية وتراكم كبريتات الكالسيوم .وكثيراً ما يمتزج الجبس مع أنواع ثانوية من الصخور الكيميائية الأخرى مثل الأنهيدريت Anhydrite والملح الصخرى Rock Salt ليكون تلال شاطئية متوسطة الارتفاع.

جـ ـ الملح الصخرى : Rock Salt

تتكون رواسب الأملاح المختلفة بعد ترسيبها من مياه البحار الضحلة والبحيرات التى تتعرض أسطحها بشدة لفعل التبخر المستمر. ومن ثم قد تترسب مجموعات مختلفة من الأملاح ومن بينها الكلوريدات والكبريتات والكربونات والأزوتات. وقدر العلماء بأن كل ١٠٠٠ جزء من مياه البحر تحتوى ٣٥ جزءاً من الأملاح ومعظمها من مجموعة الكلوريدات. وقد تظهر رواسب الأملاح على السطح بعد تبخر المياه البحرية أوالساحلية الضحلة، ولكن قد تظهر القباب الملحية Salt Domes داخل تكوينات صخرية قديمة تبعاً لتسرب المياه الملحية داخل الصخر ثم بعد تبخر هذه المياه تترسب رواسب الأملاح على شكل قباب ملحية كما هو الحال فى مناطق متفرقة من جنوب تكساس فى الولايات المتحدة الأمريكية .(شكل ٦٤)



(شكل ٦٤) القباب الملحية

(ثالثاً) الصخور الرسوبية العضوية

تتألف هذه المجموعة من الصخور من تراكم بقايا النباتات وهياكل الحيوانات المختلفة، وقد تتم عملية تراكم هذه المواد العضوية في بيئات ترسيبية متنوعة كما هو الحال في البحار العميقة أو المستنقعات الساحلية أو فوق سطح الأرض. وعندما تنطمر هذه الكائنات البحرية وتتماسك فتاتها تكون صخور رسوبية مؤلفة من الكائنات العضوية . ومن بين هذه المجموعة كل من الصخور الجيرية العضوية والصخور الفوسفاتية والصخور الكربونية وخاصة طبقات الفحم.

أ - الصخور الجيرية العضوية : Organically - formed Limestones

تعد هذه المجموعة أكثر أنواع الصخور الجيرية انتشاراً على سطح الأرض، وتمثل نسبة كبيرة من التكوين الصخرى العام لقشرة الأرض، وتتألف عامة من بقايا وفتات الحيوانات البحرية التى لها القدرة على استخلاص المواد الجيرية من المياه واستخدامها فى بناء هياكلها وقشورها وأصدافها. ومن ثم عند فناء هذه الحيوانات تتلاشى المواد الهلامية المكونة للكائن نفسه وتتساقط الهياكل والقشور الجيرية (إن استطاعت مقاومة عملية ذوبانها فى المياه) وتتراكم فوق قاع البحر. وبمرور الأزمنة الجيولوجية ونتيجة للضغط الواقع عليها وتداخل بعض المواد اللاحمة بين ذراتها تلتحم هذه الرواسب وتكوّن الصخور الجيرية العضوية.

ومن الحيوانات البحرية التى لها القدرة على استخلاص المواد الجيرية من مياه البحار وبناء المواد الأساسية المكونة للصخور الجيرية الفورامنيفرا Foraminifera والنوموليت Mummulites والشعاب المرجانية Corals والطحالب الجيرى Calcareous Algae، وكائنات الجلوبجرينا Globigerina والبتروبود Pteropod والكوكوليث Coccolith

وحيث تتميز حبيبات الصخور الجيرية لهذه المجموعة بدقة حجمها، فهى لا تتجمع إلا فى الأعماق البعيدة خاصة فيما بين ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠م وتعرف مثل هذه الرواسب المكونة من ذرات دقيقة الحجم جداً برواسب

الأوز Oozes وذلك مثل الأوز البتروبودى والجلوبجرينى. وعند ظهور هذه الطبقات الجيرية على سطح الأرض (بعد تعرضها لحركات الطىّ) فإن دلت على شئ فإنما تدل على خصائص البيئة الترسيبية التى تجمعت خلالها تلك الرواسب وإن التوزيع الجغرافى الحالى لليابس والماء يختلف عما كان عليه إبان ترسيب هذه المواد الجيرية.

وتكون كائنات النوموليت الصخر المعروف باسم قروش الملائكة أو الحجر النوموليتى Nummulitic وهو صخر ناصع البياض مكون أساساً من محارات نوموليتية مستديرة أشبه بشكل قطع النقود المعدنية. فى حين تساهم كائنات الفورامنيفرا فى تكوين الصخور الطباشيرية والذى شاع تكوينه خلال العصر الطباشيرى - الكريتاسى Cretaceous

ب - صخر الفوسفات : Phosphate Rock

يتضح من اسم الصخر أنه يتركب أساساً من فوسفات الكالسيوم، نتيجة تحلل عظام وهياكل وأطراف بعض الكائنات البحرية . وتستغل رواسب هذا الصخر فى عمليات تخصيب الأراضى الزراعية. وتتمثل طبقات الفوسفات فى جمهورية مصر العربية فى مناطق متفرقة خاصة بالقرب من سفاجة والقصير على ساحل البحر الأحمر وبوادى النيل بالقرب من السباعية وإسنا وفى الواحات الخارجة والداخلة.

جـ - الرواسب الفحمية : Coal-Measures

عندما تندثر النباتات وأفرع الأشجار وجذوعها وتنطمر تحت رواسب سميكة وتتعرض لعمليات الإنضغاط تتفحم أو تتكربن بالتدريج وخلال فترات طويلة من الزمن الجيولوجى تصبح طبقات مختلفة من الفحم. وتبعاً لحجم المواد النباتية المنطمرة وطول الزمن الجيولوجى التى تكونت خلاله ومدى الضغط الواقع عليها يميز الباحثون مجموعات مختلفة من الرواسب والطبقات الفحمية. فالبيت أو اللبد النباتى Peat عبارة عن نباتات غير كاملة التفحم ولا تزال أغصان النباتات فيه مفككة وتشبه إلى حد كبير (البرسيم المضغوط) وتتميز طبقاتها باللون البنى وأنها

إسفنجية النسيج وعالية المسامية، وتنتشر فى مناطق المستنقعات Peat Bogs بالمناطق المعتدلة والباردة ويعد « البيت » أفقر التكوينات الفحمية إذ لا تزيد نسبة الكربون فيه عن ١٠٪ فضلاً عن كثرة الشوائب والرمال المنتشرة مع هذه الرواسب.

أما فحم اللجنايت Lignits، فهو الآخر عبارة عن نباتات منطمرة إلا أنها أقدم عمراً من اللبد النباتى، واندثرت فى معزل عن الهواء الخارجى نسبياً،ومن ثم تقل فيه الشوائب وترتفع فيه نسبة الكربون حتى تصل إلى نحو ٧٠٪، وأجزائه متماسكة سوداء أو تميل إلى اللون البنى الغامق وتسمى تبعاً لذلك بالفحم البنى The Browm Coal وتتمثل طبقات هذا الفحم مع تكوينات الزمن الجيولوجى الرابع .

ومن بين أحسن أنواع الفحم من حيث الطاقة الحرارية الكامنة فيه هو الفحم الحجرى Coal ويبدو هذا الفحم على شكل طبقات رقيقة السمك (تتراوح من بضعة سنتيمترات ونادراً ما يزيد سمك الطبقة الواحدة عن ٢م) ذات لون أسود قاتم ، شديدة الاندماج ولا يبدو فيها أى أثر لبقايا الكائنات النباتية اللهم إلا بعض طوابع لأشكال أوراق الأشجار القديمة التى اندثرت وتحللت بعد أن تركت طابعها فى الصخر[١] . وأكثر تكوينات الفحم الحجرى شيوعاً فى القشرة الأرضية تلك التى تكونت خلال العصر الفحمى أو الكربونى فى الزمن الجيولوجى الأول.كما قد تتمثل طبقات الفحم فى الزمن الجيولوجى الثانى - العصر الجوارسى - وخاصة خلال فترة الباجوسيان فى مصر ، حيث عثر على طبقات واسعة من الفحم الحجرى فى منطقتى المغارة والصفا فى القسم الشمالى من شبه جزيرة سيناء . وقد تبين من الدراسات الجيولوجية أن طبقات الفحم تترسب على شكل دورات إرسابية خاصة تعرف باسم Cyclothems وتتميز هذه الدورات بإرساب الطبقات الفحمية والصلصالية فى الأجزاء العليا من

(١) تكونت طبقات الفحم من انطمار أشجار كبيرة الحجم وأخرى كانت تنمو فى بيئة المستنقعات ومن بين أهم هذه المجموعات الشجرية تلك المعروفة باسم لبيدودندرون Lepidodendron وسجيلاريا Sigillaria وكلاميتس Calamites

التكوينات الفحمية Coal Measures وكل من هذه الطبقات المختلفة إن دلت على شئ فإنما تدل على خصائص البيئة الترسيبية التى تكونت خلالها.

ويمكن أن نميز نوعين رئيسيين من الفحم الحجرى هما:

١. **الفحم البيتوميني** Bituminous Coal وهو أسود اللون وتصل نسبة الكربون فيه إلى نحو ٨٠٪ وعند لمسه يترك اثراً أسوداً فى اليد نتيجة لليونته،ومن ثم يعرف أيضاً باسم الفحم اللين Soft Coal+ أو القطرانى.

٢. **فحم الانثراسيت** Anthracite وهو أسود اللون كذلك إلا أن نسبة الكربون فيه مرتفعة جداً وتزيد عادة عن ٩ [illegible] من جملة وزنه ويتميز بعظم [illegible] كثافته وشدة صلابته ومن ثم يعرف باسم الفحم الصلب Hard Coal ويعد على [illegible] الفحم من حيث الطاقة الحرارية الكامنة فيه

، ثالثاً ، الصخور المتحولة
Metamorphic Rocks

يقصد بمجموعة الصخورالمتحولة تلك الصخور التى تحولت عن حالتها الأصلية الأولية إلى حالة أخرى جديدة لم تكن عليها من قبل، وقد يكون هذا التغير الذى طرأ على الصخر تغيراً فى طبيعة النسيج الصخرى أو اختلافاً فى التركيب المعدنى أو الاثنين معاً. وكثيراً ما يتولد فى الصخور المتحولة معادن جديدة لم تكن موجودة من قبل فى الصخور الأصلية سواء أكانت من أصل نارى أو من أصل رسوبى. وتتم عمليات التحولة الصخرى تبعاًلتأثير الحرارة الشديدة أو بفعل الضغط الشديد أو نتيجة لتأثير الحرارة والضغط الشديدين معاً.ويختلف حجم الصخور المتحولة تبعاً لشدة العوامل التى أدت إلى عمليات التحول . وقبل دراسة الصخور المتحولة وتحديد خصائصها الطبيعية العامة ينبغى أن نشير إلى مشكلتين أساسيتين تتعلق بدراسة الصخور المتحولة وهما:

١ـ كثرة أنواع الصخورالمتحولة حيث أنها قد تتألف من جميع أنواع الصخور الرسوبية والنارية على السواء، فأى صخر من هذين النوعين من الصخور يمكن أن يتحول إلى أحد أفراد مجموعة الصخور المتحولة . هذا فضلاً عن أن الصخر المتحول قد يتحول إلى نوع أخرمن الصخور المتحولة نتيجة لتعرضه لظروف تحول خاصة.

٢ـ لا يمكن أن نلاحظ عملية التحول الصخرى أثناء حدوثها ، وتشاهد الصخور المتحولة من أصل نارى فوق سطح الأرض بعد أن تكون قد مرت بعمليات التحول داخل القشرة الأرضية وتعرضت لعمليات الرفع ، هذا بخلاف عمليات الترسيب التى قد يمكن مشاهدتها وملاحظة كيفية تكوين معظم مجموعات الصخور الرسوبية، وكذلك فيما يتعلق بإمكانية مشاهدة المصهورات اللافية فوق سطح الأرض وبرودتها التدريجية لتكوين الهضاب البركانية والصخور النارية. ومن ثم فإن نشأة الصخور المتحولة وتحديد عمليات التحول الصخرى لابد وأن نستخلصه من دراسة التركيب والنسيج الصخرى لهذه الصخور .

الخصائص العامة للصخور المتحولة

(١) النسيج الصخرى : Texture

قد يتركب نسيج الصـخور المتحولة من حبيبات خشنة أو متوسطة أو دقيقة كما هو الحال فى كل من الصخور النارية والرسوبية ، ولكن أهم ما يميز الصخور المتحولة ليس فقط اختلاف حجم الحبيبات الصخرية بل كيفية ترتيب هذه الحبيبات . ومن ثم يمكن أن نلاحظ نوعين مميزين من النسيج الصخرى فى الصخور المتحولة هما:

(أ) النسيج الصخرى الورقى : Foliated texture

حيث تترتب حبيبات الصخر نتيجة لعمليات التحول ترتيباً خاصاً ، وتظهر غالباً على شكل خطوط طولية رقيقة متوازية متجاورة وتمتد فى اتجاه عام مع اتجاهات التشقق الصخرى. وينقسم النسيج الورقى تبعاً لخصائص عملية التصفح أو التورق إلى أنماط ثانوية من بينها:

١- النسيج الإردوازى: Slaty texture

حيث تترتب حبيباته الدقيقة الحجم جداً على طول أسطح تشقق متجاورة جداً ومتوازية ولا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. ويتمثل ذلك فى صخر الاردواز المتحول من الصخور الطينية وبعض الصخور البركانية التى تعرضت لعمليات التحول .

٢- النسيج الفليتى: Phyllitic texture

على الرغم من دقة حجم حبيبات الصخر فى هذه الحالة إلا أنه يمكن رؤيتها بالعين المجردة، وتبدو أسطح التشقق الصخرى متجاورة ومتقاربة وغير منتظمة الامتداد . ويتمثل هذا النسيج بوجه خاص فى صخر الفليت، وهو ذو مظهر وسط بين صخر الأردواز المجهرى الحبيبات والشيست الواضح الحبيبات .

٣- النسيج الشيستوزى : Schistose texture

يطلق هذا التعبير على الصخور المتحولة التى تبدو على شكل صفائح أو وريقات رقيقة منفصلة على طول أسطح التشقق ويمكن مشاهدتها بالعين المجردة. كما يتميز أسطح الشقوق فى هذه الحالة بكونها خشنة عن تلك فى حالتى النسيجين الأردوازى والفليتى.

٤- النسيج النيسى : Gneissic texture

ويتميز النسيج فى هذه الحالة بخشونته حيث يتركب الصخر فى بلورات كبيرة ترى بالعين المجردة ، وأن أسطح التشقق تبدو غير منتظمة الامتداد وخشنة المظهر.

ب - النسيج الصخرى غير الورقى: Un Foliated texture

لا يتمثل هذا النسيج إلا فى مجموعة محدودة جداً من الصخور المتحولة، حيث يصعب على الملاحظ أن يحدد اتجاهات معينة للتشقق الصخرى ، أو اتجاهات ثابتة لتكسر أسطح الصخر وتبدو الحبيبات الصخرية غير منتظمة الترتيب أو بمعنى آخر غير صفائحية المظهر.

(٢) التركيب المعدنى:

على الرغم من تنوع التركيب المعدنى للصخور المتحولة إلا أنه يمكن أن نميز إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

أ- صخور متحولة تتألف أو تكاد تتألف أساساً من معدن واحد، ويطلق الجيولوجيون عليها اسم الصخور ذات المعدن الواحد Monomine-ralic ومن بين هذه المجموعة الرخام Marble الذى يتألف من الكلسيت والكوارتزيت الذى يتألف من الكوارتز . وتتميز هذه المجموعة من الصخور بكونها غير ورقيةالنسيج ، أو أن مظهرها الورقى الصفائحى ضعيف جداً.

ب- بقية الصخور المتحولة يتألف كل منها من معدنين أو أكثر ويطلق عليها الصخور المكونة من معادن متعددة Multimineralic ويلاحظ بأن أغلب الصخور المتحولة المكونة من معدنين أو أكثر تبدو أساساً ورقية أو

صفائحية النسيج، وقليل منها مثل الصخور الرنانة ـ الهورنفلزHornfels غير ورقية النسيج

ويلاحظ بأن الصخور المتحولة تتألف عامة من نفس مجموعات المعادن المكونة للصخور النارية والرسوبية وذلك مثل معادن الكوارتز، والكلسيت، والفلسبار الأورثوكلازى والبلاجيو كلازى والميكا والأوجيت، ولكن نتيجة لعمليات التحول الصخرى المختلفة قد تنشأ معادن جديدة فى الصخور المتحولة من النادر أن نجدها ممثلة فى مجموعتى الصخور النارية أو الرسوبية ومن بين هذه المعادن الديوبسيد Diopside والترموليت Tremolite ، والسيلمنيت Sillimanite ، والكاينيت Kyanite ، والاندلوسيت Andalusite ، والستوروليت Staurolite ، والابيدوت Epidote ونتيجة لاختلاف كل من النسيج الصخرى والتركيب المعدنى يمكن أن نرجح تصنيفاً مبسطاً للصخور المتحولة يتلخص فى الجدول الآتى:(١)

نوع النسيج الصخرى	صخور مكونة من معدن واحد	صخور مكونة من معدنين أو أكثر
صخور غير ورقية صخور ورقية	الكوارتزيت ـ الرخام —	الهورنفلز (الصخرالرنان) الاردواز ـ الفيليت الشيست ـ النيس

عمليات التحول الصخرى وأسبابها

يقصد بالتحول الصخرى التغير الذى يطرأ على أى صخر من حيث نسيجه أو تركيبه المعدنى . وتحدث عمليات التحول الصخرى فى حالة كون الصخر متماسك الأجزاء وبارداً ـ أى متجمداً ـ فى حين لا تحدث هذه العمليات للصخور وهى فى حالة الانصهار أو السيولة . ويمكن للصخور

(1) William Lee Stokes and Sheldon Judson. 'Introduction to geology " , Prentice Hall N. J. "1968" , P.95.

أن تظل فى باطن القشرة الأرضية لفترة طويلة من الزمن الجيولوجى على هيئة مواد شبه سائلة لزجة إذا ساعدت عوامل الحرارة والضغط على ذلك، فى حين قد تتحول صخور قشرة الأرض المتجمدة - أو الباردة - إلى صخور مختلفة تحت تأثير عوامل خاصة أهمها ارتفاع درجة الحرارة، وشدة الضغط، وتغلغل محاليل مختلفة عالية التفاعل الكيميائى داخل الصخر. وقد تتم عملية التحول الصخرى بسبب أحد هذه العوامل أو لأكثر من عاملين معاً.

الحرارة : أكدت الأبحاث الجيولوجية بأن الصخور قد تتعرض لعمليات التحول إذا ما تعرضت لدرجة حرارة عالية تتراوح من ٣٠٠° ف إلى ١٤٧٠° ف (١٥٠° م إلى ٨٠٠°م).

الضغط : أكدت نتائج أعمال حفر آبار البترول بأن الصخور الرسوبية التى تبعد عن السطح بنحو ٢٠ - ٣٠ ألف قدم حيث يبلغ مقدار الضغط الواقع عليها بنحو ٤٠,٠٠٠ رطل فى البوصة المربعة، تصبح الصخور فى حالة مرنة أو لينة Plastic ونتيجة لشدة الضغط الواقع على الصخور عند هذه الأعماق البعيدة ينجم ما يلى:

أ- تقل المساحات التى كان يشغلها الصخر من قبل نتيجة الضغط الواقع فوقه ، وتؤدى هذه العملية إلى إعادة تبلور حبيبات الصخر وتكوين معادن جديدة صغيرة الحجم يتجاور بعضها مع البعض الآخر .

ب- نتيجة لاختلاف قوة الضغط الواقعة فوق الصخور قد يؤدى ذلك إلى تكوين انسيابات من المواد الصخرية. وينجم عن هذه الانسيابات الصخرية تعرض الصخور المضغوطة إلى تشقق أسطحها بحذوز رقيقة متوازية، وتغيير نسيجها الأصلى، وتعديل اتجاهات حبيباتها الصخرية، وتكوين بلورات صخرية جديدة.

السوائل النشيطة كيميائياً:

تحتوى الماجما التى تتألف منها مجموعات الصخور النارية على نسبة معينة من الماء، ومعظم هذه المياه تنبثق مع المصهورات البركانية على شكل أبخرة وغازات . وإذا انبثقت هذه المياه الساخنة بالقرب من سطح الأرض وداخل صخور قشرة الأرض فإنها تتغلغل فى الصخور على شكل محاليل مائية حرارية Hydrothrmal Solution وتعمل هذه المحاليل على نقل أيونات الصخور النارية إلى الصخور الأخرى التى تتغلغل فيها ، وقد تعمل على نقل بعض أيونات من هذه الصخور الأخيرة وإرسابها فى صخور مختلفة أخرى ونتيجة لعمليات نقل أيونات الصخور وإحلال أخرى جديدة محلها يؤى ذلك إلى تغيير الصخر الأصلى.

ويطلق على عملية تغيير معادن الصخر بفعل عمليات نقل أيونات الصخر وإحلال غيرها محلها باسم التحول المغير Metasomation. وأثناء تغير معادن الصخر قد تزال السوائل النشيطة كيميائياً داخل فراغات الصخر دون أن ينتابها هى أى تغير كيميائى، وفى هذه الحالة يطلق عليها تعبير المحاليل المدمرة أو المغيرة Cataclastic solution

أنماط التحول الصخرى: Types of Metamorphism

يمكن أن نميز الأنواع الآتية من أشكال التحول وذلك فى ضوء كيفية حدوث عمليات التحول نفسها :

١- التحول الصخرى الحرارى: Thermal Metamorphism

وتتم عملية التحول الصخرى فى هذه الحالة بفعل الحرارة الشديدة ، وقد يكون مصدر هذه الحرارة العالية المواد المنصهرة فى باطن الأرض وانسيابها إلى أعلى أو بفعل مواد الماجما المنصهرة المنحبسة داخل القشرة الأرضية.

٢- التحول الصخرى الديناميكى: Dynamic Metamorphism

وتحدث عملية التحول الصخرى هذه بفعل الضغط الشديد الواقع

فوق الصخور ، وينجم عن ذلك تغيير عام فى النسيج الصخرى وإعادة الترتيب الذرى لمعادن الصخر بل وإحلال معادن جديدة فى الصخر الأصلى . وعندما تتحول الصخورعن حالتها الأصلية إلى حالة جديدة بفعل كل من الحرارة والضغط معاً فيعرف التحول هنا باسم التحول الديناميكى الحرارى .Dynamothermal metamorphism

٣- التحول الصخرى التماسى أو الاحتكاكى : Contact metamorphism

وتحدث عملية التحول فى هذه الحالة نتيجة تماس الصخر بمواد مصهورة ساخنة تعمل بدورها على تغيير أيونات الصخر وتعديل التركيب الذرى والمعدنى للصخر الأصلى. وعلى ذلك فقد يحل محل أيونات الصخور الأصلية معادن أخرى جديدة بفعل الغازات الساخنة وخاصة فى منطقة التماس، ولكن كلما بعدنا عن هذه المنطقة يقل تأثير التماس الصخرى، وتقتصر عملية تغيير معادن الصخرعلى بعض المعادن القابلة للتغيير، وفى النهاية يتلاشى تأثير التحول التماسى.

وعلى ذلك فيشتد تأثيرالتحول التماسى فى منطقة الاحتكاك الصخرى نفسها وما يقع بالقرب منها، ويمكن تمييز مناطق التحول التماسى عن غيرها من الأجزاء الأخرى للصخور ، ويطلق عليها اسم هالة التحول Aureoles or Halos ويختلف سمك هذه الهالة من بضعة سنتيمترات إلى نحو بضع مئات من الأقدام، وتشاهد هالات التحول الاحتكاكى عندماتتدخل السدود العروق النارية والكتل النارية فى الصخور الأخرى. وخلال حدوث عمليات التحول الاحتكاكى تتراوح درجة حرارة المواد المنصهرة من ٥٧٠ْ ف إلى ١٤٧٠ْف (٣٠٠ْ م إلى ٨٠٠ْ م)، كما يتراوح مقدار الضغط فى هذه الحالة من ١٥٠٠ إلى ٤٥,٠٠٠ رطل لكل بوصة مربعة .

ونتيجة لحدوث عمليات التحول الاحتكاكى يعاد تبلور معادن الصخور من جدد ، كما قد تنشأ معادن أخرى جديدة ومن أكثرها شيوعاً الديوبسيد Diopside والترموليت Termolite(سليكات الكالسيوم والمغنسيوم).

٤- التحول الصخرى الإقليمى Regional metamotphism:

عندما يشتد تأثير عمليات التحول بحيث تشغل مساحات واسعة تمتد لآلاف من الأميال المربعة ، ويظهر تأثيرها فى صخور هائلة السمك قد تبلغ عدةآلاف من الأقدام، فإن التحول الصخرى فى هذه الحالة يعرف باسم التحول الإقليمى . ويرجع الباحثون بأنه من أهم أسباب حدوث عمليات التحول بهذا الشكل حدوث الحركات التكتونية والتقلصات الباطنية فى باطن الأرض وتعرض صخور القشرة الأرضية لحرارة وضغط شديدين . ومن ثم تشاهد تأثير عمليات التحول الإقليمى فى المناطق المركزية التى تتشعع منها حركات المرتفعات والثنيات الكبرى فى القشرة الأرضية.

وخلال عمليات التحول الإقليمى تنشأ فى الصخور معادن جديدة بفعل الضغط والحرارة معاً ولم تكن ممثلة فيها من قبل، ولا تتمثل هذه المعادن فى الصخور النارية أو الرسوبية ومن بين هذه المعادن السليمنيت ، والكاينيت، والأندلوسيت.

وقد تقسم المنطقة التى تأثرت بعمليات التحول الإقليمى إلى مناطق Zones متميزة تشمل :

أ- مناطق عالية التأثر بعمليات التحولHigh grade ويكثر فيها معدن السيلمنيت.

ب - مناطق متوسطة التأثر بعمليات التحول Middle grade ويكثر فيها معدن الجارنت والاندييت.

جـ - مناطق قليلة التأثر بعمليات التحول Low grade ويكثر فيها معدن الكلوريت.

وكل من هذه المناطق الثانوية المميزة تتشكل وفقاً لدرجات الحرارة والضغط الواقعين على الصخور الأصلية. ومن ثم فإن المناطق العالية

التأثر بعمليات التحول تقع بالقرب من مصدر هذه العمليات فى حين أن المناطق القليلة التأثر بها تبعد كثيراً عنها. ومن دراسة العلماء لنوع المعادن الصخرية وتمييز معادن الصخور المتحولة مثل السيلمنيت والجارنت والكلوريت يمكن تحديد موقع المنطقة التى يفحصها الباحث بالنسبة لمراكز عمليات التحول ، وذلك سواء أكانت منطقة عالية أو متوسطة أو قليلة التأثر بعمليات التحول.

نماذج لبعض الصخور المتحولة

تسمى أنواع الصخور المتحولة المختلفة فى معظم الأحيان وفقاً لأشكال نسيجها الصخرى وفى بعضها الآخر تبعاً لوفرة معدن ما فى تكوينات الصخر، ومن بين أكثر الصخور المتحولة شيوعاً فى قشرة الأرض ما يلى:

الاردواز: Slate

يتكون هذا الصخر المتحول أساساً عن الصلصال فى المناطق القليلة التأثر بعمليات التحول ويتألف من حبيبات صخرية دقيقة الحجم جداً ، ويتشقق الصخر على شكل صفائح رقيقة جداً موازية لبعضها البعض نتيجة لتعديل اتجاه المعادن المسطحة المببطة الشكل والدقيقة الحجم بفعل عمليات التحول . وتتحول بعض المعادن الصلصالية بفعل عمليات التحول كذلك الى الكلوريت والميكا . وإذا تميز الاردواز بلونه الداكن فيعزى ذلك إلى كثرة وجود المواد الكربونية أو الحديدية فى الصخر .

الفيليت : Phyllite

يشبه صخر الفيليت ، صخر الأردواز من حيث التركيب المعدنى إلا أن حبيباته أكبر حجماً من تلك فى حالة الإردواز . وعندما يتعرض الإردواز لدرجات حرارة عالية تتراوح من ٥٠٠ْف إلى ٦٠٠ْف (٢٥٠م - ٣٠٠م) فإن معادن الكلوريت والميكا تكبر حجماً ، ويتحول الصخر إلى الفيليت .

ويتميز سطح هذا الصخر بانصقاله وكأنه منكسر حديثاً . Fresh broken
وأكثر المعادن شيوعاً فى صخر الفيليت هى الكلوريت والميكا البيضاء
وقليل من التورمالين والجارنت .

الشيست : Schist .

يكثر وجود صخر الشيست فى مناطق التحول الإقليمى . ويتميز الشيست ببلوراته الدقيقة الحجم ، وبنسيجه الورقى أو الصفائحى ، والمعروف بالنسيج الشيستوزى . وقد تؤدى الميكا الى فصل صفائح الشيست بعضها عن البعض الآخر حيث تتركز الميكا على شكل وريقات صفائحية رقيقة جداً وتنفصل كل وريقة عن الأخرى بواسطة صفحات أخرى من الكوارتز

ولما كان الشيست صخراً متحولاً من أنواع مختلفة من الصخور النارية والرسوبية معاً فيمكن أن نميز أنواع ثانوية متعددة منه ذات خصائص متنوعة . ويوضح البيان الآتى بعض أنواع من الشيست والصخور الأصلية التى تحول عنها :

أنواع صخور الشيست	الصخور الأصلية التى تحول عنها
كلوريت - شيست ميكا - شيست	الصلصال
هورنبلند - شيست بيوتيت - شيست	البازلت والجابرو
كوارتز - شيست	حجر رملى غير نقى .
كالسيت - شيست	حجر جيرى غير نقى .

ويتألف الشيست أساساً من نسبة مرتفعة من الكوارتز والفلسبار ونسب قليلة من معادن الأوجيت والهورنبلند والجارنت Garnet (العقيق) ، والأبيدوت والماجنيتيت - وعندما ترتفع نسبة الكلوريت والأبيدوت فى الصخر فإنه يظهر باللون الأخضر ويعرف باسم الشيست الأخضر Green schist .

النيس : Gneiss

يتألف صخر النيس من حبيبات واضحة خشنة كبيرة الحجم نسبياً وتبعاً لدرجة تبلوره يتكون هذا الصخر فى المناطق العالية التأثر بعمليات التحول وخاصة فى مناطق التحول الإقليمى . ويتمثل فى النيس أشكال غير واضحة تماماً من التشقق ولكن أهم ما يميزه فى الطبيعة هو تخطيطه بأشرطة ملونة مميزة فى الصخر .

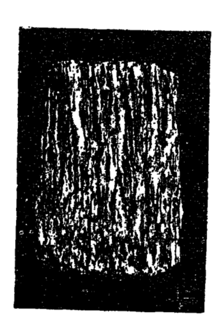
وإذا كانت هناك بعض الشوائب المعدنية مختلطة بصخر النيس ، فإنه عند عمليات التحول تتخذ هذه الشوائب أشكالاً ملتوية مختلفة بفعل تعرضها للحرارة والضغط ، وإن دلت هذه الأشكال الملتوية للمواد الشائبة المعدنية على شئ فإنما تدل على تعرض الصخر لعمليات التحول وإعادة الترتيب الذرى لمعادن الصخر (شكل ٦٥) . وإذا كان صخر النيس قد تحول عن الصخور النارية مثل الجرانيت ، والجابرو ، والديوريت فإن حبيباته الصخرية تترتب على شكل وريقات رقيقة متوازية حيث تتعاقب كل من حبيبات الكوارتز والفلسبار والمعادن



(شكل ٦٨) قطعة من صخر النيس المتحول وممثل فيه مواد حديدية مغنيسية على شكل أشرطة منثنية بعد تأثيرها هى الأخرى بفعل عمليات التحول .

الحديدية والمغنيسية فوق بعضها البعض . أما إذا كان صخر النيس قد تحول عن الصخور الرسوبية الصلصالية وخاصة من الجراى واكس Graywackes(صخر طينى رملى رمادى اللون) فإن الصخر فى هذه الحالة يتشكل بخطوط رقيقة من الكوارتز والفلسبار ويفصل بينها شرائح رقيقة من المعادن الصفائحية أو الليفية النسيج وذلك مثل الكلوريت والميكا والجرانيت والهورنبلند ، والكاينيت والسليمنيت . (شكل ٦٦)

ويسمى صخر النيس باسم المعادن الأساسية التى تدخل فى تركيبه ومن ثم يمكن أن نميز النيس الميكائى Mica - gneiss، والنيس الهورنبلندى Hornblende - gneiss والنيس الجرانيتىGranite- gneiss .



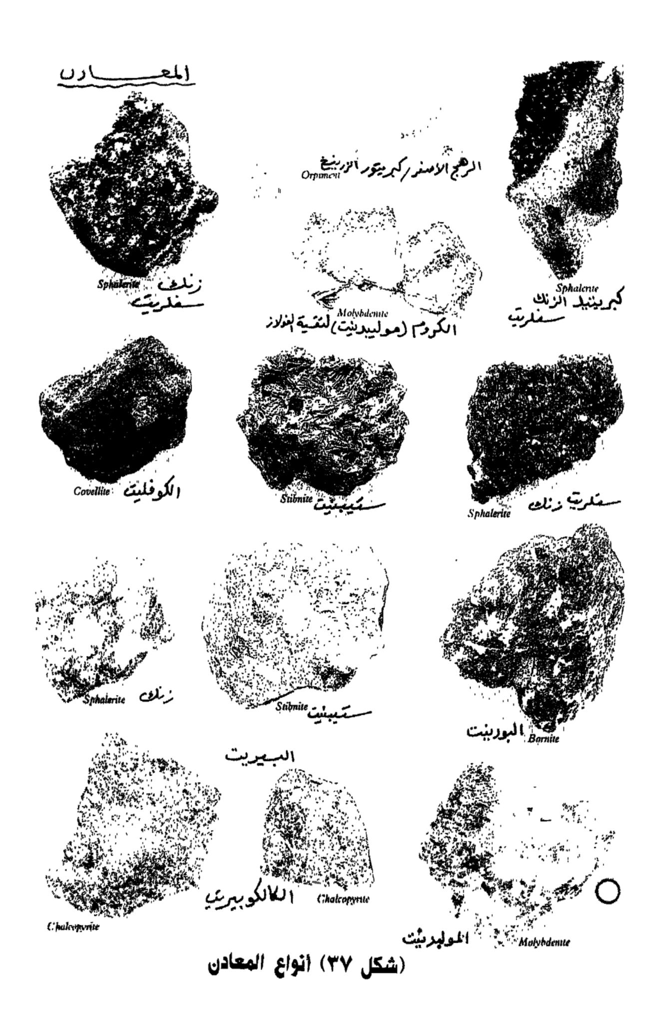
(شكل ٦٦) قطعة من صخر النيس المتحول يتضح فيها إعادة ترتيب المعادن على شكل خطوط طولية متوازية . وفى الصورة يتضح أن الخطوط المعدنية الفاتحة اللون تتألف من معادن الأورثوكلاز والكوارتز ، أما الداكنة اللون فتتألف من الميكا السوداء والمعادن الحديدية - المغنيسية .

الرخام : Marble

يتحول هذا الصخر عن الكلسيت والدولوميت ، ويزداد تكوينه خلال عمليات التحول الإحتكاكى والإقليمى . ومن مميزاته أنه عديم التشقق وبلوراته كبيرة الحجم . وتظهر اتجاهات بلورات الكلسيت فى خطوط متوازية تبعاً لتأثير الضغط الشديد الذى صاحب عمليات التحول .

وعلى الرغم من أن اللون الأساسى للرخام هو اللون الأبيض الثلجى الناصع Snow-white غير أنه فى معظم الأحيان تختلط فيه الشوائب المعدنية الأخرى وخاصة خلال عمليات التحول التى تعمل بدورها على تشكيل ألوان الصخر . ومن ثم هناك الرخام الأسود تبعاً لإرتفاع نسبة المواد الفحمية البيتومينية والرخام الأخضر نتيجة لكثرة الديبوسيد والهورنبلند ، والسربنتين والطلق ، والرخام الأحمر تبعاً لإرتفاع نسبة أكسيد الحديد والهيماتيت فى الصخر ، والرخام البنى تبعاً لإرتفاع نسبة الليمونيت فى الصخر .

وقد يتمثل فى الرخام رواسب معدنية كريمة مثل العقيق Garnet والياقوت الأحمرRubies ، وإذا تحول الرخام عن صخور جيرية تكثر فيها الحفريات فإن الأخيرة تكسب الرخام ألواناً جميلة زاهية بعد عملية تحولها وتعرضها للحرارة والضغط . ويوجد الرخام اساساً فى المناطق التى تعرضت تكويناتها الصخرية لعمليات التحول الإقليمى وتقع تكويناته فيما بين الشيست الميكائى والفليت .



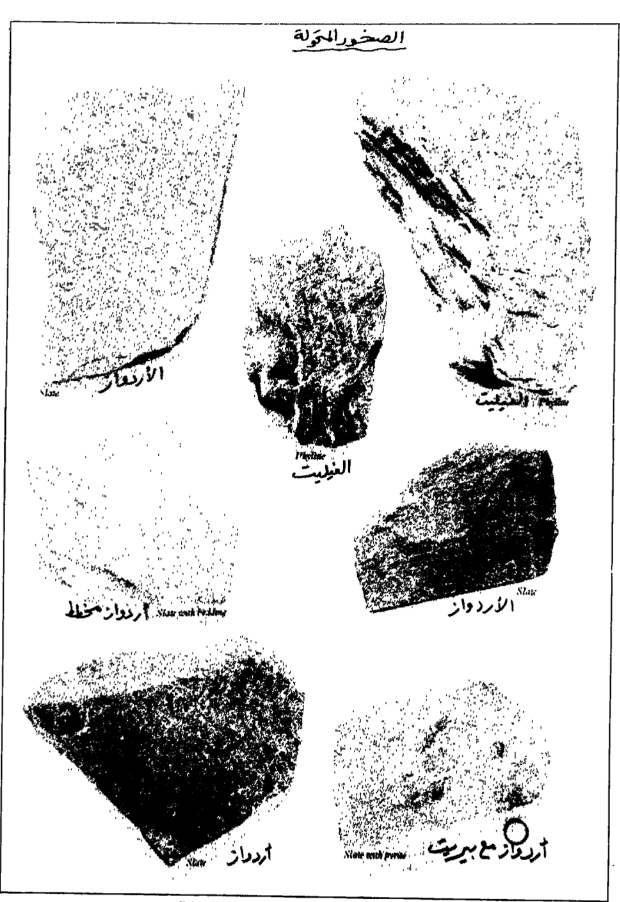
(شكل ٣٧) أنواع المعادن



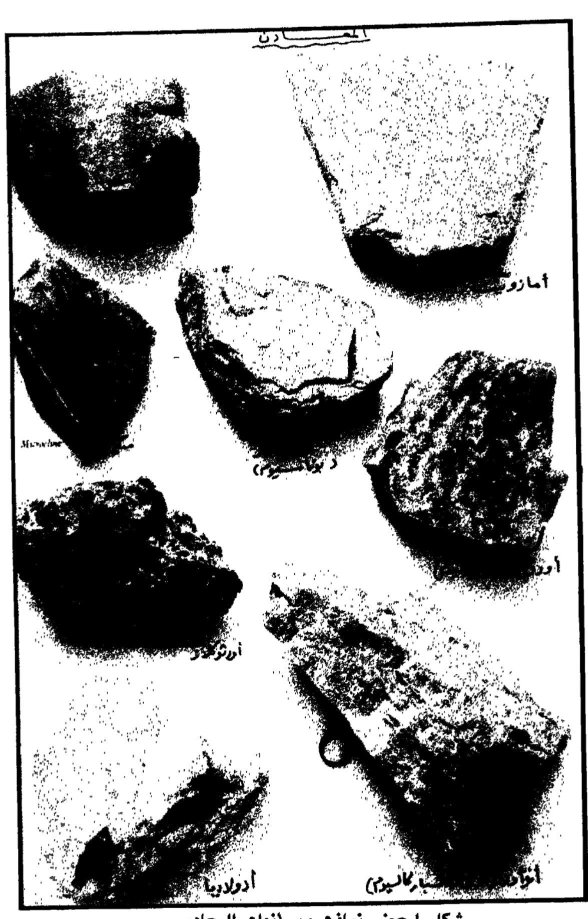
(شكل ٦٧ ب) نماذج من الصخور الرسوبية



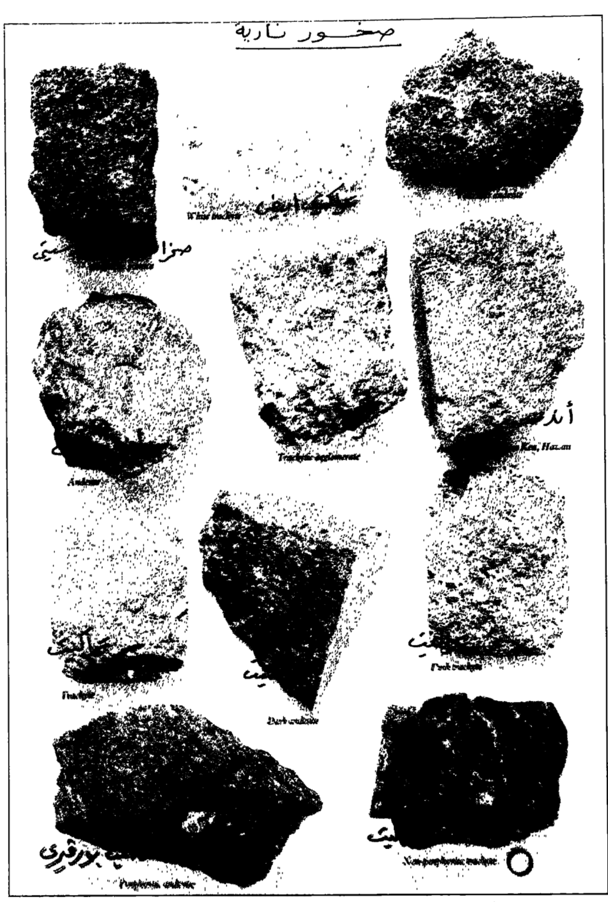
(شكل ٣٦) أشكال معدن الكوارتز مع اختلاطه بالشوائب



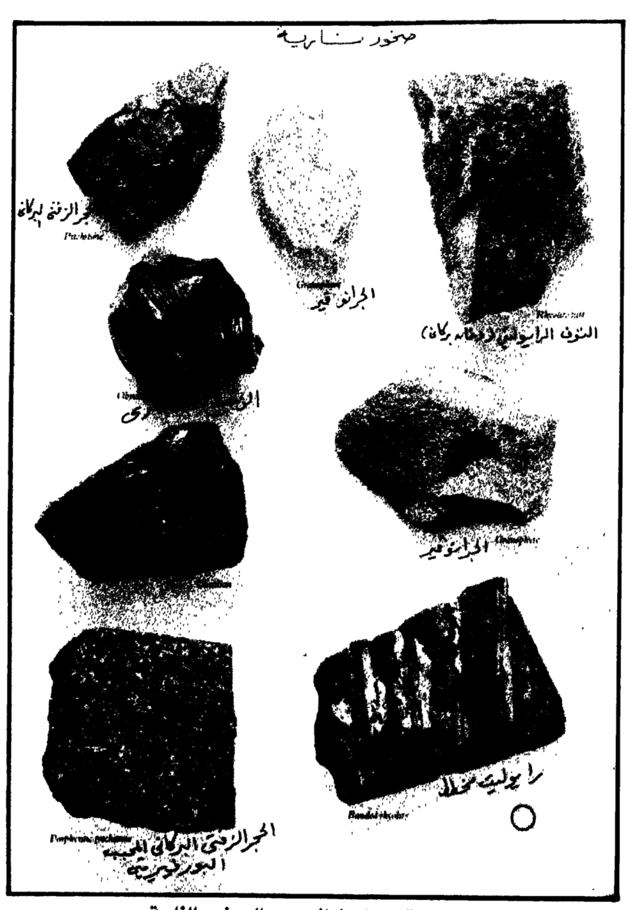
(شكل ٦٩) نماذج من الصخور المتحولة



شكل لبعض نماذج من أنواع المعادن



(شكل ٥٧ ب) بعض نماذج من الصخور النارية



(شكل ٥٧ أ) بعض نماذج من الصخور النارية



(شكل ٦٧ أ) نماذج من الصخور الرسوبية

الباب الثالث

القوى التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض

مـــقــدمـــة : حركات توازن قشرة الأرض

الفصل السادس: القوى الداخلية الفجائية السريعة

أولاً ـ الزلازل

ثانياً ـ البراكين

ثالثاً ـ النافورات والينابيع الحارة

الفصل السابع: القوى الداخلية التدريجية البطيئة

أولاً ـ الالتواءات (حركات الثنى والطى)

ثانياً: الصدوع (الانكسارات)

الفصل الثامن: القوى الخارجية وأثرها فى تشكيل سطح الأرض

أولاً ـ فعل التجوية : (أ) التجوية الميكانيكية

(ب) التجوية الكيميائية

ثانياً ـ فعل عوامل التعرية: (أ) المياه الجارية السطحية

(ب) المياه الجوفية

(ج) فعل الرياح فى مناطق الصحارى الحارة الجافة

(د) فعل البحر

(هـ) فعل الجليد

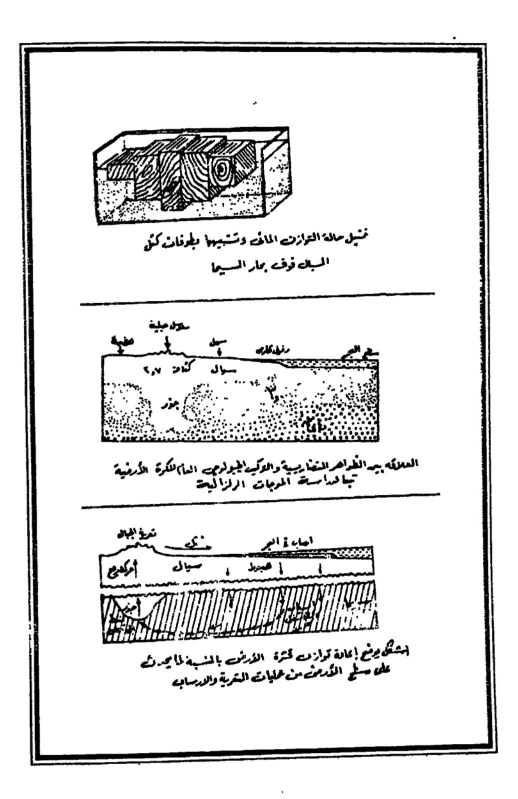
مقدمة

حركات التوازن الأيزوستاتيكى للأرض

رجح هذا التعبير الأستاذ داتون Dutton فى عام ١٨٨٩ وهو تعبير مشتق من اللغة اليونانية القديمة Isostaslos ومعناها « حالة توازن أو ثبات » equipoise ، وقد استخدم هذا التعبير ليدل على حالة التوازن بين القارات وما يتمثل فوقها من هضاب وجبال عالية وبين ما يقع تحت قشرة الأرض من مواد باطنية (١) . وقد شبه داتون توازن اجزاء سطح الأرض فوق المواد السفلية من قشرة الأرض (أو بمعنى أخر طوفان جبال السيال فوق بحار السيما) بطوفان جبال الثلج العائمة فوق مياه البحار القطبية. ويمكن تحقيق هذه الصورة علمياً فى المعمل عند وضع كتل أو مكعبات من الخشب فى حوض به ماء، فيلاحظ المشاهد أن كتل الخشب تطفو فوق سطح الماء بارتفاعات تتناسب مع أطوالها وأحجامها المختلفة ويطلق على هذه الحالة تعبير « حالة التوازن المائى » (شكل ٧٠) State of hydrostatic balance ومن هنا استنتج داتون بأن هناك حالة من التجاوب الدائم بين مستوى سطح السيما ووزن السيال الطافى فوقها ، حيث أن كل نقص فى إحداهما لابد أن يعوضه زيادة فى الآخر وهكذا تتميز قاعدة قشرة الأرض عن بقية مواد باطن الأرض عن طريق الضغط المتساوى فوق السيما Isopistic or Uniform Pressure وعند حالة التوازن التام يطلق على القشرة الأرضية بأنها متوازنة فوق ما تحتها من مواد ويسهل ايضاً تحديد مستوى التوازن Isopiestic Level or level of compensation الذى يفصل بين الكتل الصخرية الطافية المكونة للجبال والهضاب وبقية المواد السفلية للقشرة الأرضية وباطن الأرض. ومن نتائج دراسات داتون يتضح أن مستوى التوازن يقع على أعماق متشابهة من سطح

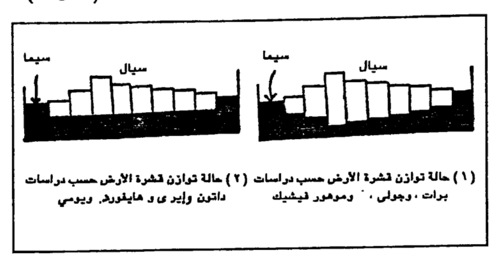
---

(1) Holmes, A., 'Principles of physical geology " London (1595) , 15 -17`



(شكل ٧٠) التوازن الايزوستاتيكى للأرض

الأرض، ويتمد على طول استقامته أسفل التكوينات السيالية. (شكل ٧١).



(١) حالة توازن قشرة الأرض حسب دراسات برات ، وجولى ، وموهور فيشيك

(٢) حالة توازن قشرة الأرض حسب دراسات داتون وإير ى و هايفورد. ويومي

(شكل ٧١) مستوى التوازن التكتونى حسب دراسات برات وداتون

وقد أوضحت الأبحاث الجيوفيزيقية فى مرتفعات بيرو فى عام ١٧٣٥ وبعض الدراسات الحديثة عند سفوح مرتفعات الهيملايات وسواحل خليج بسكاى أن الثقل المغناطيسى لتكوين هذه المناطق (بدراسة تغير اتجاه عمود البندول المغنط) يتأثر بشدة بالتركيب المعدنى للصخور السفلية التى تطفو فوقها المرتفعات والجبال على سطح الأرض.

وهكذا تحقق العلماء بأن الهضاب والجبال العالية فوق سطح الأرض لا تتفق قاعدتها مع مستوى سطح الأرض الذى تقع عليه ، بل قد يتكون لها جذور عميقة جداً يزيد عن خمسة أمثال ارتفاع هذه الجبال فوق سطح الأراضى المجاوية . وكلما تعرضت هذه الجبال لحركات ارتفاع جديدة تزيد منسوبها فوق منسوب سطح الأرض المجاورة، أدى ذلك إلى زيادة أعماق جذور هذه الجبال فى باطن الأرض، أو بمعنى آخر أن هناك دائماً حالة من الاحتفاظ على الاتزان أو التوازن الاستاتيكى بين أعالى قشرة الأرض واجزائها السفلية .

وليس من المحتم أن تقع الجذور الباطنية للجبال فى طبقات السيما تحت أعالى القمم الجبلية العالية التى تتمثل فوق سطح الأرض، ذلك لأن

موقع الجبال قد يتغير ويتشكل على مرور الزمن بفعل عوامل التعرية ، ومن ثم نلاحظ اهتزاز عمود البندول المؤشر لطبيعة الثقل المغناطيسى للصخور ، عند كشف جذور السيما للجبال فى منطقة مرتفعات البرانس يشير إلى قاع خليج بسكاى بدلاً من الإشارة إلى مرتفعات البرانس العالية ، وإن دل هذا على شئ فإنما يدل على أن قاع خليج بسكاى وخاصة فى القسم الجنوبى منه يتألف من تكوينات السيما العالية الكثافة ، وقد تمتد هذه التكوينات إلى الجنوب من خليج بسكاى وأسفل المرتفعات الشمالية لشبه جزيرة أيبريا على شكل جذور لهذه المرتفعات.

وفى مرتفعات الهيملايا تكررت هذه المشاهدات الجيوفيزيقية حيث لم ينجذب عمود البندول المغنط بشدة نحو هذه المرتفعات كما كان يظن من قبل، ومن ثم اعتقد بعض الدراسين أن السبب فى ذلك قد يعزى إلى تدنى كثافة صخور السيما التى تقع أسفل جبال الهيملايا بالنسبة لبقية مواد السيما السفلية المجاورة من جهة أخرى، أو نتيجة لهذين العاملين معاً.

وإذا استطاعت عوامل التعرية المختلفة إزاحة بعض القمم الجبلية وتكوينات المرتفعات فى مناطق ما على سطح الأرض، ثم إرساب هذه المفتتات فوق مناطق الرفارف القارية وقيعان البحار، فإن ذلك يؤدى بدوره إلى زيادة الضغط الواقع على طبقات السيما تحت الرفارف القارية، وبزيادة التكوينات الإرسابية فوقها ، يزداد امتداد جذورها السيالية فى طبقات السيما السفلية، ويترتب على ذلك انسياب السيما السفلية (بفعل الضغط الواقع عليها من أعلى إلى أسفل) وانتقالها إلى مواقع جديدة أسفل قشرة الأرض السيالية. وتتعرض هذه المناطق الأخيرة من جديد لفعل حركات الرفع التكتونى، وتحدث عمليات إعادة التوازن الأيزوستاتيكى للقشرة الأرضية(١) (شكل ٧١) Isostatic re-adjustment

وبدراسة سرعة الموجات الزلزالية التى تخترق طبقات الأرض، ومن نتائج الأبحاث السيزمولوجية تبين أن عمق بعض السلاسل من جذور

---

(1) Holmes, A., 'Principles of physical geology " London (1595),p. 32.

السيما يزيد عن ٤٠ كم، فى حين نجد أن سمك السيال فى مناطق السهول الواقعة بالقرب من مستوى سطح البحر يتراوح من ١ إلى ١٢ كم، وتختفى طبقات السيال تماماً تحت القاع الحقيقى للمحيطات .

ويعتقد هولمز بأن القسم الأعلى من طبقات السيما يتألف من صخور ساخنة نسبياً، ترتفع فيها نسبة الغازات ، وتساعد هذه الغازات فى مواد السيما على تكوين تيارات حرارية ضعيفة تتجه نحو جذور المرتفعات الجبلية. وتؤدى حركة انسياب السيما إلى استمرار تعرض الجبال لحركات رفع تكتونية، ومن ثم يطلق على مثل هذه المناطق بأنها مناطق لم يستقر فيها التوازن الأيزوستاتيكى -(التكتونى) - Out of isostatic balance (شكل ٧١).

وإذا كان التوازن الأيزوستاتيكى يتشكل بالتغيرات التكتونية التى تحدث فى باطن الأرض، فإن العوامل الخارجية فوق سطح الأرض التى تقوم بعمليات النحت والنقل والإرساب تؤثر كذلك فى حدوث عمليات استقرار أو عدم استقرار قشرة الأرض. وحدوث حركات توازن تحت تأثير عوامل خارجية تعرف باسم التوازن الأيوستاتى أو التغيرات الأيوستاتيكية Eustatism or eustatic changes هذا إلى جانب تراكم الجليد فى المناطق القطبية يؤدى إلى زيادة الضغط الواقع على الطبقات السفلية فى حين أن انصهاره يخفف الضغط الواقع على هذه التكتونيات، ولهذه العمليات أثرها فى حركات توازن القشرة الأرضية . وقد أوضحت الأبحاث الجيولوجية أن المناطق الوسطى والشمالية من قارة أوربا وقارة أمريكا الشمالية التى كانت مغطاة بالغطاءات الجليدية خلال العصر البلايوستوسينى قد تعرضت ولا تزال تتعرض من جديد لحركات الرفع التدريجى بعد انصهار تلك الغطاءات الجليدية التى كانت تتجمع فوقها . وهكذا نلاحظ أن بعض سواحل اسكتلندا والنرويج والدانمرك تتعرض لعمليات الارتفاع التدريجى بعد إزاحة الجليد الذى كان متجمعاً فوق اراضيها. ويرجع الأستاذ هولمز بأن المناطق التى سبق أن غطيت بالجليد البلايوستوسينى قد ترتفع إلى نحو ٧٠٠ قدم عن منسوبها الحالى حتى تصل إلى حالة ثابتة من التوازن الأيوستاتيكى Eustatic Balance

وتتشابه آراء الأستاذ هايفورد Hayford والأستاذ أيرى Airy مع آراء هذه المجموعة من الباحثين بأن كثافة كتل السيال فوق سطح الأرض تتناسب تناسباً عكسياً مع ارتفاع كل منها، كما رجحت أبحاثهم بأنه عند عمق ١٠٠ كم من سطح الأرض تتلاشى الاختلافات الجوهرية فى كثافة صخور السيما، وعلى ذلك يتميز مستوى التوازن Isopiestic Level ، باستقامته ووقوعه عند أعماق متشابهة بالنسبة لمختلف حجم الكتل السيالية القارية التى تطفو فوقه.

أما الأستاذ برات Pratt فقد اعتقد بأنه لا توجد أدلة يقينية تؤكد تكوين ما يسمى بمستوى التوازن،بل انه ليس من الضرورى وجود مثل هذه المستوى « الأفتراضى» على اعماق متشابهة من سطح الأرض (راجع شكل٧١).

وقد حقق هذا الرأى كذلك الأستاذ اليوغوسلافى موهورفيش فى عام ١٩٠٩ وأكد بأن مواد السيما نفسها تختلف فيما بينها من حيث الكثافة تبعاً للمواد التى تدخل فى تركيبها، وأكد أن كثافة مواد باطن الأرض تزداد كلما اتجهنا صوب مركز الأرض، وبدلاً من مستوى التوازن رجح هذا الباحث خطاً جديداً هو ما يسمى بالحد الموهوروفيشى-Mohorovicic Dis continuity الذى تبلغ عنده سرعة الموجات الزلزالية ٨.١ كم / ثانية وتقل سرعة الموجات عن ذلك فوقه، فى حين تزيد عن ذلك أسفل منه. ويفصل هذا الحد بين قشرة الأرض (بتكويناتها من السيال والسيما) وبين طبقة الغطاء الداخلى للأرض Mantle .

من هذا العرض يتضح أن قشرة الأرض تحاول دائماً أبداً أن تحتفظ على استقرار توازنها، وتتأثر عمليات الاستقرار التوازنى لقشرة الأرض بفعل كل من العوامل الخارجية إلى جانب الآثار الناجمة عن العوامل أو القوى الداخلية التى تشكل باطن الأرض. ومن ثم فإن مجال موضوع هذا الفصل هو دراسة للقوى الخارجية والداخلية التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض.

الفصل السادس
القوى الداخلية الفجائية السريعة

تتأثر مواد قشرة الأرض بقوى مختلفة تعمل على تشكيلها بمجموعات متباينة من الظواهر التضاريسية. ومن ثم اكد الجيولوجيون بأن الظواهر التضاريسية لسطح الأرض ما هى الا نتاج كل من التركيب الصخرى والقوى أو العوامل التى شكلت الصخور خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل ، ويمكن تصنيف القوى الختلفة التى تشكل مظهر سطح الأرض وظواهرة إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

١- القوى الداخلية : Intrusive or endogenetic Forces

وهى عبارة عن القوى المختلفة التى تنشأ فى باطن الأرض وتؤثر فى تشكيل قشرتها الخارجية. وقد تظهر آثار هذه القوى على سطح الأرض بصورة فجائية سريعة، ويطلق عليها فى هذه الحالة تعبير القوى الداخلية الفجائية السريعة ومن أمثلتها الزلازل والبراكين والنافورات الحارة . فى حين نلاحظ أن بعض القوى الداخلية الأخرى تشكل قشرة الأرض بصورة تدريجية وبطيئة جداً - قد تتخذ الملايين من السنين لكى تتم فعلها - وتعرف هذه المجموعة الأخيرة بتعبير القوى الداخلية التدريجية البطيئة ومن أمثلتها حركات الثنى والطى (الالتواءات المحدبة والالتواءات المقعرة) والصدوع (الانكسارات).

ب - القوى الخارجية : Extrusive or Exogenetic Forces

وهى عبارة عن القوى المختلفة التى تنشأ فوق سطح الأرض نتيجة لتفاعل الأغلفة الجوية والمائية والنباتية مع قشرة الأرض وتشكيل سطح هذه القشرة بظواهر تضاريسية متباينة بفعل النحت والنقل والإرساب . ويمكن تصنيف القوى الخارجية التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

١- فعل التجوية: Weathering

ويشمل أثر فعل التجوية الميكانيكية والتجوية الكيميائية ، هذا إلى

جانب الأثر الناتج عن فعل الكائنات الحية والإنسان فى تشكيل سطح الأرض .

٢- فعل التعرية : Erosion

ويشمل أثر فعل عوامل التعرية المختلفة وخاصة التعرية النهرية والبحرية والجليدية وفعل الرياح والمياه الجوفية فى تشكيل سطح الأرض. وحيث يتعرض سطح الأرض لفعل عوامل متعددة من عوامل التعرية المختلفة يتفاوت عملها من إقليم إلى أخر، بل ومن زمن جيولوجى إلى أخر فقد تميزت اجزاء سطح الأرض بدورها بظاهرات تضاريسية متنوعة كذلك من إقليم إلى أخر. بل وتختلف هذه الظواهر التضاريسية من زمن إلى أخر فى نفس الإقليم الواحد.

وينبغى أن نضع فى الاعتبار عند دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض بأنه من الخطأ فصل أثر فعل القوى الداخلية عن ذلك الناتج بفعل القوى الخارجية ، فكل من تلك القوى تعمل معاً فى نفس الوقت فى المكان الواحد. فعند تعرض جزء من سطح الأرض بفعل حركات الرفع التكتونية البطيئة تعمل عوامل التعرية المختلفة على إزالة التكوينات الصخرية اللينة التى ترفع إلى أعلى بفعل العوامل الداخلية. ومن ثم فإن القوى الداخلية والقوى الخارجية فعلان متلازمان ومترابطان يتفاعل كل منهما مع الآخر بل ولا يمكن فصل أحدهما عن الآخر عند دراسة تكوين الظواهر التضاريسية لسطح الأرض ومراحل تشكيل تلك الظواهر. وعلى الرغم من ذلك ففى دراستنا هذه سنعرض لمناقشة تأثير فعل كل من تلك القوتين الداخلية والخارجية على حدة، حتى يمكن للدراس أن يدرك بسهولة ووضوح أثر كل منهما فى تشكيل سطح الأرض وتقييم هذا الأثر.

القوى الداخلية الفجائية السريعة

أولاً - الزلازل

عبارة عن هزات سريعة وقصيرة المدى تتعرض لها قشرة الأرض

خلال فترات متقطعة نتيجة للاضطرابات الباطنية ويشتد حدوث مثل هذه الهزات الأرضية مع الثورانات البركانية العنيفة أو مع حركة التصدع الكبرى ، وعند احتكاك الصخور بشدة على طول أسطح الصدوع العميقة. وقد تهتز أجزاء قشرة الأرض بشدة بحيث يشعر بها الإنسان فى حين هناك الاف من الهزات الضعيفة قصيرة المدى لا تسجلها سوى أجهزة الرصد السيزموجرافية الدقيقة. وتتميز بداية حدوث الهزات الزلزالية بضعفها ثم بمرور ثوان قليلة جداً تنبعث الهزات العنيفة وبمضى ثوان أخرى تتناقص قوة الهزات إلى أن تلاشى نهائياً ، ويظل الإنسان على موعد آخر مع حدوث هزات زلزالية أخرى جديدة.

وقد ينجم عن حدوث الزلازل العنيفة تدمير المنشآت العمرانية وهلاك أعداد كبيرة من السكان . ومن بين تلك الزلازل المدمرة العنيفة زلزال شنسى (الصين) فى عام ١٥٦٦والذى ادى إلى مصرع نحو ٨٣٠ الف نسمة و زلزال كلكتا فى عام ١٧٣٧وراح ضحيته نحو ٣٠٠الف نسمة وزلزال اكوادور فى عام ١٧٩٦ وادى إلى مصرع نحو ٤١الف شخص وزلزال كانسو فى الصين عام ١٩٢٠ وادى إلى مصرع نحو ١٨٠ الف شخص. ومن أحدث الزلازل المدمرة زلزال بيرو الذى حدث فى ٢ يونيو عام ١٩٧٠ لمدة ٤٠ثانية فقط، ومع ذلك ترك الزلزال وراءه منطقة مدمرة تماماً بلغت مساحتها نحو ١٢٨,٠٠٠كم٢ ، وراح ضحيته اكثر من ٥٠الف قتيل و ٢٠الف جريح، وتشرد بسببه اكثر من ٢٠,٠٠٠شخص، وقد أزال الزلزال اثنتا عشرة مدينة وقرية كبيرة من بيرو ، هذا إلى جانب تدمير اكثر من ٩٠٪ من مدينة هواراز (٣٠الف نسمة) ونحو ٧٠٪ من مدينة تشيمبوتى (٨٠الف نسمة) وكانت تلك المدينة الأخيرة تعرف باسم سويسرة الصغيرة أو سويسرة بيرو.

وقد شهدت مدينة شيراز جنوب إيران فى يوم ١٠ابريل عام ١٩٧٢ زلزالاً مروعاً، يعد من أعنف الزلازل التى تعرضت لها الأراضى الإيرانية. وقد قدر عدد ضحايا هذا الزلزال باكثر من ٢٥ الف شخص، ودمر الزلزال اكثر من ثلاثين قرية فى المنطقة المجاورة لمدينة شيراز. وبلغت درجة

الزلزال ٩,٥ وقد أدى إلى اهتزاز منطقة بلغت مساحتها نحو ٤٠٠كم٢ ومن بين القرى التى اختفت معالمها تماماً بفعل هذا الزلزال، قرى كارزين ، وجيهير ،وهنجام، ومبارك حاد.

أما زلزال ماناجوا فى نيكارجوا فقد حدث فجأة فى يوم ٢٤ ديسمبر عام ١٩٧٢ وأدى إلى مصرع أكثر من ٥٠ألف نسمة ،وإصابة أكثر من ٢٠٠ألف نسمة بجروح بالغة من جملة سكان ماناجوا الذى يبلغ عددهم حوالى ٣٠٠ ألف نسمة. وقد نجم عن هذا الزلزال حدوث الحرائق الرهيبة وتشقق سطح الأرض.

وحاول الإنسان منذ القدم تفسير نشأة الزلازل وأسباب حدوثها ليهتدى إلى تلك القوى الخفية التى تعمل على تدمير منشأته فوق سطح الأرض. وفى بداية العصور التاريخية اعتقد الإنسان بأن الأرض مثبتة فوق رأس حيوان ضخم، ولكن نتيجة لتحرك جسم هذا الحيوان ببطأ تحدث الهزات الزلزالية فى الأرض . واختلفت التفسيرات حول نوع هذا الحيوان الضخم، فاعتبره اليابانيون عنكبوتا ضخماً يحمل الأرض بين طيات نسيجه ، وظنه الصينيون حوتاً ضخماً فى حين رمز إليه الهنود الحمر بسلحفاه هائلة الحجم، كما اعتقدت جماعات اللاماسLamas فى منغوليا بأن الآله بعد أن خلق الأرض ثبتها فوق ظهر ضفدعة هائلة الحجم ، وفى كل مرة عندما تحرك الضفدعة رأسها أو قدميها تتعرض الأرض لحدوث الهزات الزلزالية (شكل٧٣) . أما الفيلسوف الإغريقى أرسطو فى القرن الرابع قبل الميلاد اعتقد بأن نشأة الزلازل ترجع إلى تسرب السنة ساخنة من الغازات والهواء من باطن الأرض عبر الشقوق والفتحات الصخرية. وأكد بأنه قبيل حدث الزلازل سرعان ما يتغير الطقس ويصبح الجو أكثر رطوبة نتيجة لقدوم الهواء الرطب الساخن من باطن الأرض. وربما ساهمت آراء أرسطو بعض الشئ فى ظهور نظرية تكوين الزلازل المصاحبة للبراكين والتى ظهرت فى منتصف القرن الثامن عشر.



(شكل ٧٣) العالم فوق رأس الضفدع الضخمة حسب

اعتقاد جماعات اللاماس فى منغوليا.

نشأة الزلازل

تنشأ نتيجة للاضطرابات التى يتعرض لها باطن الأرض، ومع ذلك يمكن أن نميز بعض العوامل الرئيسية التى تؤدى إلى حدوث الزلازل ، وقد تصنف الزلازل إلى مجموعات مختلفة كذلك تبعاً للعوامل التى ساعدت على حدوثها ، ومن بين هذه المجموعات :

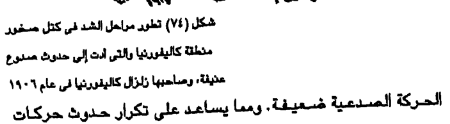
١- الزلازل المصاحبة لحدوث التصدع:

أكدت الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة بأن أهم أسباب حدوث الزلاز ل يعزى إلى تعرض صخور قشرة الأرض لحراكات صدعية عنفية (١). وحقق العلماء هذه النتيجة بتجارب عملية ، وذلك بوضع قطعة صخرية تحت ضغط مائل يماثل الضغط الواقع عليها وهى فى باطن الأرض على عمق ١٠٠ميل من السطح. وقد تبين بعد إجراء هذه التجربة أن

(1) Dom Leet, L. anp Hudson S., " Physical Geology" Prentice Hall.(1965), p.300.

الصخر سرعان ما يتغير شكله، ثم يتمزق فى النهاية إلى شطرين أو أكثر وذلك بفعل التصدع (الانكسارات).

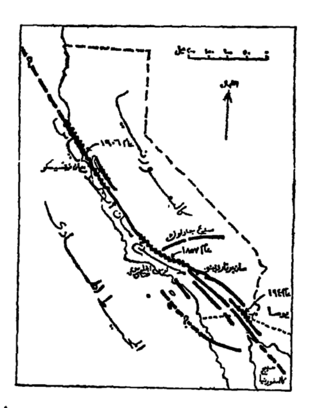
واستطاع العلماء تحقيق هذه التجارب على مشاهدات حقلية فى الطبيعة وذلك عند دراسة الزلزال الذى صاحب حدوث صدع سان أندريا San Andreas Fault فى كاليفورنيا عام ١٩٠٦ فقد قامت مصلحة المساحة الجيولوجية بدراسة التكوين الجيولوجى لمنطقة صدع سان اندريا قبل حدوث الزلزال بأشهر قليلة. وقد اوضحت هذه الأبحاث الجيولوجية بأن صخور المنطقة كانت تتعرض لحركات رفع تدريجية بسيطة Warping وتغييرتدريجى مستمر فى شكل الطبقات ثم نجم عن هذه الحركات فى النهاية تصدع الطبقات جانبياً بشدة وحدوث الزلزال فى عام ١٩٦٠ ودرس الأستاذ ريد H.F.Reid تطور حدوث حركات الرفع التدرجية والزحزحة الجانبية للطبقات الصخرية فى ثلاث فترات متعاقبة من١٨٥١ إلى ١٨٦٥، ومن عام ١٨٧٤ إلى ١٨٩٢، ثم من عام ١٩٠٦ إلى ١٩٠٧ (شكل ٧٤). وأكد نتيجة لذلك بأنه كلما كانت الحركات الصدعية شديدة ادى إلى حدوث زلازل عنيفة ومدمرة، فى حين قد لا تحدث الزلازل إذا كانت الحركة الصدعية ضعيفة. ومما يساعد على تكرار حدوث حركات



شكل (٧٤) تطور مراحل الشد فى كتل صخور منطقة كاليفورنيا والتى ادت إلى حدوث صدوع عنيفة، وصاحبها زلزال كاليفورنيا فى عام ١٩٠٦

التصدع على نفس أسطح الصدوع Fault planes القديمة تأثر الطبقات الصخرية بمجموعات من الصدوع مثل صدع وادى أوين Owens Valley Faults ووادى ديث Death Vally Faults (شكل ٧٥).

ومن بين نماذج الزلازل التى تكونت على طول أسطح الصدوع العميقة زلزال السكا فى عام ١٨٩٩ ، حيث تكون هذا الزلزال نتيجة لتحرك الطبقات رأسياً على طول سطح صدع (انكسار) قديم. وقد ارتفعت الطبقات التى رميت إلى أعلى نحو ٤٧ قدماً على طول سطح الصدع. وتعزى أسباب حدوث الغالبية العظمى من الزلازل فى اليابان إلى شدة الحركات الصدعية التى تتأثر بها صخور اليابان . ومن أشهر الزلازل الصدعية فى اليابان تلك الذين تعرضت له منطقة طوكيو ويوكوهاما فى سبتمبر عام ١٩٢٣.



شكل (٧٥) الصدوع العميقة فى منطقة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية ويدل الخط الملتوى على مناطق حدوث الزلازل على طول أسطح الصدوع.

ب - الزلازل المصاحبة لحدوث البراكين:

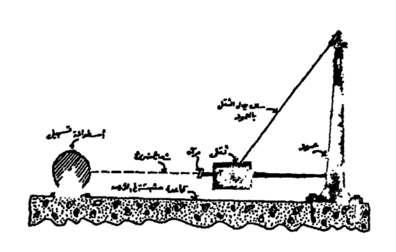
كان يعتقد من قبل أن البراكين وحدها هى التى تساهم فى حدوث هزات أرضية عنيفة، وأكد هذا الرأى ظاهرياً تشابه التوزيع الجغرافى الحالى لكل من الزلازل والبراكين خاصة حول النار بالمحيط الهادى. ولكن تبين من الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة بأن حدوث الزلازل بحلقة النار بالمحيط الهادى لا يرجع إلى سبب الثورانات البركانية، بل إلى خصائص التركيب الجيولوجى لتلك المناطق الحديثة التكوين والضعيفة جيولوجياً والتى لم تستقر طبقاتها الصخرية بعد ، وتعرضها الدائم لفعل التصدع. وقد تتعرض جزر اليابان أحياناً إلى ثلاثة زلازل فى يوم واحد دون أن تنبثق اللافا من أى بركان موجود بالجزر. وليس للزلازل التى تعرضت لها منطقة مسيناً بجزيرة صقلية أى ارتباط بالنشاط البركانى المجاور والممثل فى بركانىّ أتنا واسترمبولى.

وقد اتضح من الدراسات الجيولوجية بأنه أثناء حدوث بعض الثورانات البركانية الشديدة، قد تتكون بعض الزلازل فى تلك المناطق الضعيفة جيولوجياً. وتتميز المراكز الباطنية للزلازل التى تصاحب حدوث البراكين بأنها قريبة من سطح الأرض، وتقتصر موجاتها الزلزالية على منطقة محدود الأبعاد وتتركز بوجه خاص فى منطقة البراكين نفسها. ومن أشهر الزلازل البركانية تلك التى صاحبت حدوث بركان كراكاتاو Krakatau فى خليج سوندا Sunda (بين جزيرتى جاوه وسومطره) فى عام ١٨٨٣ ،وثورانات بركانىّ مونالوا Manua Loa وكيلويا فى جزر هاواى.

السيزموجراف والموجات الزلزالية

عندما تنبعث الهزات الأرضية من المركز الباطنى للزلزال تنطلق من هذا المركز طاقة تؤدى إلى تكوين ذبذبات قوية فى الصخور تسرى فيها على شكل موجات بحيث تكون شديدة فى المركز السطحى للزلزال وضعيفة كلما بعدت عنه . وإذا كان الإنسان لا يشعر إلا بالهزات الأرضية القوية والعنيفة فإن أجهزة رصد الزلازل المعروفة بأجهزة السيزموجراف

Seismograph تسجل جميع الهزات الأرضية الزلزالية على اختلاف قوتها.
ويتألف جهاز السيزموجراف فى أبسط صورة من ثقل مثبت على عمود أفقى ومشدود بسلك مربوط إلى قائم ثابت كذلك. ويفصل العمود الأفقى الذى فيه الثقل عن العمود القائم الرأسى مفصلة سريعة الحركة. أما فى الجانب الآخر من الثقل فيثبت منه إبرة أو قلم فى الأجهزة القديمة) أو مرآة تعكس الضوء (فى الأجهزة الحديثة) . وتتحرك الإبرة حول محور خاص بحيث تكون حركة الإبرة أو الشعاع عمودية على اتجاه محور الاسطوانة. ويلصق على الاسطوانة ورق خاص مقسم إلى أيام وساعات ودقائق وثوان ويسجل فوقه شكل الموجات الزلزالية فى أوقات حدوثها. (شكل ٧٦).



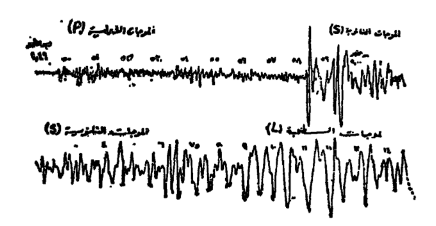
شكل (٧٦) السيزموجراف فى أبسط صورة له .

وعلى هذا الأساس عند اهتزاز القاعدة المثبت عليها الجهاز تتحرك الاسطوانة فى حين يبقى الثقل بما يحمل من إبرة أو مرآة ساكناً، ولكن بتحرك اسطوانة التسجيل، تسجل الإبرة أو شعاع الضوء فوقها خطوط

متعرجة هى عبارة عن شكل الموجات الزلزالية. وعند فحص الورق الذى كان مثبتاً فى اسطوانة التسجيل يتضح أنه يمكن تمييز عدة مجموعات مختلفة من الذبذبات تتلخص فيما يلى:

١- الموجات الأولية : Preliminary Waves (p)

وهى موجات سريعة جداً، تشبه الموجات الضوئية وأول من يصل إلى آلات الرصد الزلزالية وذبذباتها قصيرة، ومن ثم يطلق الباحثون عليها تعبير موجات الشد والدفع Push and Pull Waves ، وتتراوح سرعة الموجات الأولية من ٥,٥ إلى ١٣,٨ كم/ ثانية. (شكل ٧٧).



شكل (٧٧) موجات زلزال رومانيا فى ١٠ نوفمبر ١٩٤٠ - لاحظ الوقت الذى تسجل خلاله كل من الموجات المختلفة.

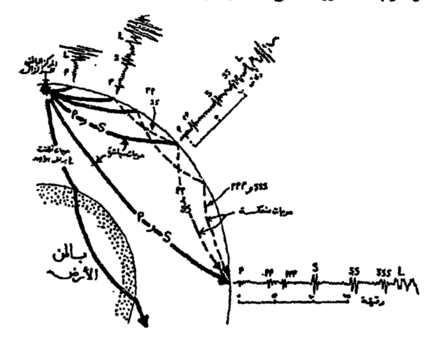
٢-الموجات الثانوية : Secondary Waves(S)

وهى موجات اهتزازية Shake waves أبطأ سرعة من الموجات الأولية، ومن ثم تصل بعدها مباشرة إلى محطات تسجيل الزلازل. وتتخذ شكل ذبذباتها اتجاه عمودى على طول امتداد خط التسجيل والذى يتفق معه انتشار الموجات الأولية. وتتراوح سرعة الموجات الثانوية من ٣,٢ إلى ٧,٣ كم/ ثانية.

٣- الموجات الطويلة : Long Waves (L)

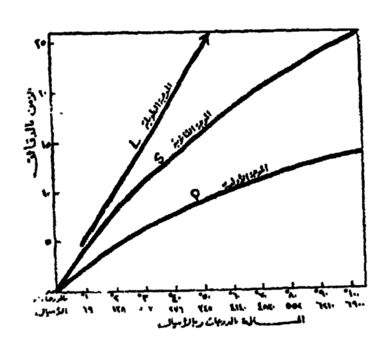
وهى موجات مستعرضة تجتاز الطبقات الصخرية العليا لقشرة الأرض وتنتشر أساساً من المركز السطحى للزلزال . وحيث أن قشرة الأرض غير متجانسة وقليلة الكثافة، فإن الموجات الزلزالية فيها تنكسر إلى أعلى وإلى أسفل ، وتسير فى مجال متعرج Zigzag Path ومن ثم تصل إلى محطات التسجيل فى وقت متأخر عن غيرها من الموجات الزلزالية الأخرى. وتتراوح سرعة الموجات الطويلة من ٤ إلى ٤,٤كم/ ث (شكل ٧٨)

ولما كانت كل من الموجات الأولية والثانوية للزلزال تنتشر فى الطبقات الصخرية السفلى لقشرة الأرض أو فى باطن الأرض، فإن أسباب التدمير والتحطيم للمنشآت العمرانية بفعل الزلازل يعزى أساساً إلى انتشار الموجات الطويلة التى تنتشر من المركز السطحى للزلزال.



شكل (٧٨) تسجيل الموجات الزلزالية فى مواقع مختلفة من سطح الأرض عند حدوث الزلزال - لاحظ الموجات المباشرة والموجات المنعكسة. كما أن الموجات الزلزالية العميقة تتكسر عن عمق ٣٠٠كم من سطح الأرض.

وإذا وضعت الموجات الزلزالية المختلفة فى قطاع بيانى خاص يوضح سرعتها ومدى انتشارها وأشكال منحنياتها ، ليتبين بوضوح أن الموجات الأولية تنتشر لمسافات بعيدة فى وقت أقل من الوقت اللازم للموجات الأخرى لكل تصل إلى نفس تلك المسافات . كما يتضح كذلك بأن الفرق الزمنى بين سرعتى الموجات الأولية والموجات الثانوية يزداد تدريجياً كلما بعدت الموجات عن مركز الزلزال . (شكل ٧٩)

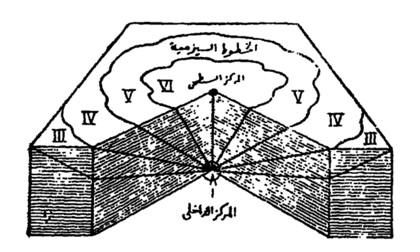


شكل (٧٩) قطاع يوضح منحنيات الموجات الزلزالية المختلفة وسرعة كل من هذه الموجات وطول المسافات التى تقطعها

المركز الداخلى والمركز السطحى للزلزال وتحديد قوته :

يطلق على المنطقة التى ينشأ فيها الزلزال فى باطن الأرض اسم المركز الداخلى للزلزال Origin, Focus, or Hypocentre وليس من الضرورى أن يتمثل منشأ الزلزال وموقعه عند نقطة محدودة فقط، بل قد تكون منطقة من باطن الأرض تعرضت لحركات تكتونية عنيفة.

أما النقطة التى تقع عند سطح الأرض عمودية على المركز الداخلى للزلزال، وتنتشر منها موجات الزلزال فوق سطح الأرض فتعرف باسم المركز السطحى للزلزال Epicenter (شكل ٨٠)



شكل (٨٠) المركز الداخلى والمركز السطحى للزلزال.

ويشتد تأثير الزلزال عند هذه النقطة الأخيرة ويقل تأثرة كلما بعدت اجزاء سطح الأرض عن المركز السطحى للزلزال . ويمكن ربط أجزاء سطح الأرض التى تتساوى من حيث تأثيرها بالزلزال بخطوط متساوية تعرف باسم خطوط الزلزال المتساوية Isoseismal Lines أو الخطوط السيزمية المتساوية . وعند رسم هذه الخطوط تبدو أهليلجية أو بيضاوية الشكل ويتمثل مركزها جميعاً فى المركز السطحى للزلزال. وعند تحديد موقع المركز السطحى للزلزال ، وأقصى مدى انتشرت عنده الموجات الزلزالية يمكن تقدير عمق الزلزال أو بمعنى أخر المركز الباطنى الذى نشأ عنده الزلزال.

ومن بين دراسة ٥٦٠٥ هزة زلزالية فى إيطاليا تبين الآتى:

٩٠٪ منها تكونت فى مراكز باطنية على عمق أقل من ٨ كم

٨٪ منها تكونت فى مراكز باطنية على عمق يتراوح من ٨ إلى ٣٠ كم.

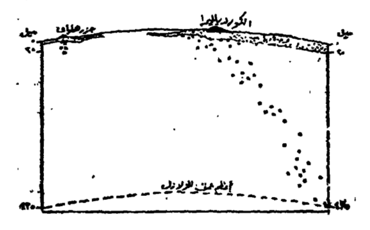
٢٪ منها تكونت فى مراكز باطنية تقع على أعماق أبعد من ٣٠كم ومن ثم وضع علماء الزلازل Seismologists تقسيماً يصنف الزلازل إلى ثلاث مجموعات بحسب بعد المركز الداخلى للزلزال عن سطح الأرض ، وتتلخص نتائج هذا التقسيم فيما يلى:

زلازل عادية Normal مراكزها الداخلية من سطح الأرض إلى ٥٠كم.

زلازل متوسطة Intermediate مراكزها الداخلية من ٥٠إلى ٢٥٠كم

زلازل عميقة Deep focus مراكزها الداخلية من ٢٥٠ إلى ٧٠٠ كم .

وقد أوضحت الدراسات السيزمولوجية بأن المراكز الداخلية التى تتمثل عندها زلازل هاواى التى تصاحب حدوث البراكين يتراوح عمقها من ميل واحد إلى ٣٠ ميل عن سطح . أما تلك التى تحدث أسفل مرتفعات الأنديز (كثير منها زلازل مصاحبة للصدوع) يختلف عمقها من ٢٠ إلى ٤٠٠ ميل عن سطح الأرض. وحتى الآن سجلت الآلات السيزموجرافية بأن أشد عمق للزلازل بلغ ٤٣٥ ميل عن سطح الأرض. (شكل ٨١).



شكل (٨١) أعماق المراكز الداخلية للزلازل تحت جزر هاواى ومرتفعات الانديز.

وتبعاً لتأثير الزلازل فى تدمير مراكز العمران البشرى وتلك المزدحمة بالسكان صنف مارسيلى Mercalli قوة الزلازل إلى عشر درجات مختلفة ، ثم عدل الأستاذ هولمز Holmes[1] هذا التصنيف إلى ثنتا عشر درجة تتلخص بالجدول الآتى:

ويمكن تطبيق النطاقات التى رجحها مارسلى من دراسة الخطوط السيزمية لزلزال شارلستون فى جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية. (شكل ٨٢)

التأثير الناتج عن حدوث الزلازل العنيفة

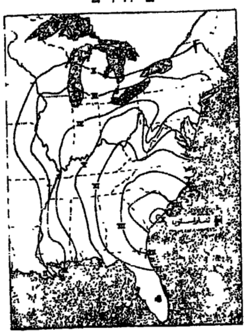
تتعرض أجزاء قشرة الأرض كثيراً لفعل الزلازل بحيث يمكن القول بأن المناطق الأكثر تعرضاً لها قد تحدث فيها الزلازل بمعدل زلزال واحد لكل بضع دقائق . ولكن أغلب هذه الزلازل لا يشعر بها الإنسان لأنها هزات أرضية خفيفة غير محسوسة، ولا تسجلها سوى أجهزة الرصد السيزموجرافية . ولا يشعر الإنسان حقيقة بفعل الزلازل إلا إذا حدثت الأخيرة فى مناطق مزدحمة بالسكان والمنشآت العمرانية المختلفة. وينجم عن حدوث الزلازل العنيفة اشتعال الحرائق وتدمير المنشآت العمرانية، وحدوث الانزلاقات الأرضية، وتشقق أجزاء من سطح الأرض واختلاف مناسيبها عما كانت عليه من قبل، ومن ثم يلقى بعد الناس مصرعهم بسبب حدوث مثل هذه الزلازل العنيفة[٢].

ويتلخص التأثير الناتج عن حدوث الزلازل العنيفة فيما يلى :

---

(1) Holmes, A., (Principles of physical geology) , London (1959), p363.
(2) Don Leet, L., and Judson H., " Physical Geology" Prentice-Hall, (1965), P.201,

درجة الزلازل	مدى اهتزازها	تأثيرها فى مناطق العمران
I	بالغة الضعف	Instrumental لا يحس بها سوى أجهزة التسجيل.
II	ضعيفة جداً	Very feeble لا يشعر بها سوى سكان الطوابق العليا من المبانى.
III	خفيفة	Slight يشعر بها الناس اثناء أوقات راحتهم فى منازلهم.
IV	معتدلة	Moderate يشعر بها العاملون ، وتهتز نوافذ وأبواب المنازل.
V	محسوسة أو قوية نسبياً	Rather strong توقظ النائمين.
VI	قوية	Strong تحدث تلفاً محدوداً فى المنازل.
VII	قوية جداً	Very strong تشقق جدران المنازل.
VIII	مخربة	Destructive تتساقط مداخن المنازل وتتهدم اجزاء المنازل القديمة.
IX	مدمرة	Ruinous تساقط بعض جدران المنازل وقد يلقى بعض الناس مصرعهم.
X	شديدة التدمير	Disasrous تساقط كثير من المنازل تحطم السدود انزلاق الأرضص.
XI	بالغة التدمير	Very disastrous تدمير عام للمنطقة ولا يتبقى منها سوى القليل من المنشآت تحدث شقوق واسعة فى الأرض.
XIII	مفجعة وشاذة	Catastrophic تدمير كل المنشآت العمرانية بالمنطقة وتطاير اجزاء منها فى الهواء .سطح الأرض واختلاف مناسيب من جزء إلى أخر.



شكل (٨٢) نطاقات الخطوط السيزمية المتساوية لزلزال شارلستون فى جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية

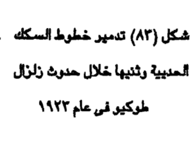
١- اشتعال الحرائق: Fire

عند حدوث الزلازل فى مناطق العمران البشرى فإن التخريب والتدمير الناتجين عن اشتعال الحرائق أشد بكثير من تأثير الهزات الأرضية نفسها . وقدر بعض الباحثين بأن ٩٥٪ من التدمير الذى تسببه بعض الزلازل، يرجع أساساً إلى اشتعال الحرائق فى المنازل والمنشآت العامة.

ومن أشهر الزلازل التى سببت حرائق هائلة زلزال خليج ساجامىSagame Bay الذى حدث فى أول سبتمبر عام ١٩٢٣. فبعد نحو ٣٠دقيقة من حدوث الزلزال الذى يقع على بعد ٧٠ميلاً من طوكيو، اشتعلت النيران فى المدينة الأخيرة فى أكثر من ١٣٦ موقعاً. ومما ساعد على زيادة اشتعال الحرائق، تهدم المعامل الكيماوية وخزانات البترول، واشتعال أفران الطهى والمواقد فى المنازل وتساقط المداخن المشتعلة فوق أسطح المنازل، وتحرك ألسنة اللهب بفعل الرياح المتغيرة الاتجاه. وخلال ١٨ ساعة فقط بعد حدوث الزلازل تم إحتراق أكثر من نصف منازل مدينة طوكيو.

أما مدينة يوكوهاما التى تبعد عن مركز الزلزال بنحو ٥٠ ميلاً فقد تعرضت هى الأخرى للحرائق بصورة أشد من تلك فى طوكيو. وبعد ١٢ساعة فقط من حدوث الزلزال تم احتراق أكثر من ٦٥٪من جملة المنشآت العمرانية فى المدينة . وقدر عدد الذين لقوا مصرعهم بسبب هذا الزلزال العنيف نحو ٢٥٠,٠٠٠ نسمة. وقد نتج عن زلزال سان فرنسيسكو فى عام ١٩٠٦ خراب وتدمير عنيفين بفعل الحرائق أشد خطراً بكثير من تأثير الهزات الزلزالية نفسها على المبانى.





شكل (٨٣) تدمير خطوط السكك الحديدية وثنيها خلال حدوث زلزال طوكيو فى عام ١٩٢٣

٢ - تدمير المنشآت العمرانية:

تعمل الزلازل العنيفة على تدمير جدران المنازل وتساقط مداخنها وانتشار الخراب والدمار فى المناطق القديمة من المدن . وقد ينتج عن تمعج قشرة الأرض ثنى خطوط السكك الحديدية وتدمير القناطر والجسور كما حدث بالنسبة لزلزال طوكيو فى عام ١٩٢٣ (شكل ٨٣) .

وقد تقاوم الأبنية الحديدية الحديثة الهزات الأرضية العنيفة وتحتفظ بتوازنها على سطح الأرض. فقد استطاع المبنى الحديدى لبنك ميتسوبيشى Mitsubishi أن يقاوم تأثير الهزات الأرضية لزلزال طوكيو فى عام ١٩٢٣فى حين تحولت جميع الأبنية التى تحيط به إلى أنقاض وأتربة. ونجح برج لاتينو- أمريكانو Latino-Americano فى مدينة المكسيك مقاومة الهزات الزلزالية العنيفة التى تعرضت لها مدينة المكسيك فى ٢٨ يوليو عام ١٩٧٥ فى حين دمرت تماما جميع المنازل والمبانى التى تقع حول هذا البرج.

٣ - الموجات الزلزالية : Seismic Sea Waves

عندما تحدث الزلازل فى قاع المحيط قد ينجم عن ذلك حدوث اضطرابات عنيفة فى مياه المحيط، وتتخذ شكل أمواج عالية تعرف فى اليابان باسم أمواج التسنامى Tsunami وأول علامة لبدء حدوث هذه الموجات البحرية هو انسحاب المياه بشدة من الشاطئ نحو البحر ، ثم بعد بضع دقائق ترتد الأمواج ثانية إلى خط الساحل بقوة وعنف على شكل موجات بحرية عالية جداً ، وينجم عنها تدمير المنشآت العمرانية على خط الساحل واندفاع المياه إلى اليابس وتجمعها أحياناً على شكل بحيرات ساحلية.

ومن بين أظهر أمثلة أمواج التسنامى تلك التى تحدث على سواحل جزر اليابان وجزر هاواى. ويبلغ عدد أمواج التسنامى التى تعرضت لها جزيرة هواى منذ اكتشافها فى عام ١٨٧٨ حتى الوقت الحاضر نحو ثلاثين موجه بحرية زلزالية كبرى. وفى أول إبريل عام ١٩٤٦ حدث زلزال عنفيف فى جزيرة انيمكUnimak بخانق الوشيان حيث يبلغ عمق البحر نحو ١٢,٠٠٠ قدم . وبعد مضى ٤ساعات و ٣٤دقيقة وصلت مقدمات أمواج التسنامى إلى جزر هاواى ، وذلك بعد أن عبرت الموجات الزلزالية نحو ٢٢٤٠ميل، أى بسرعة ٤٩٠ ميل فى الساعة وقد تراوح ارتفاع الموجات البحرية التى اصطدمت بسواحل جزر هاواى من ٣٥ إلى ٤٥ قدم.

وقد حدث زلزال محيطى أمام الساحل الجنوبى الغربى لأمريكا الجنوبية فى ٢٢ مايو ١٩٦٠، وقد استطاعت مراكز التسجيل الزلزالية تنبيه جزر المحيط الهادى بقدوم موجات التسنامى ، ومع ذلك فقد وصلت هذه الموجات العالية إلى جزر هاواى بعد ١٥ساعة من حدوث الزلزال وأدت (بالرغم من الاحتياطات وطرق الوقاية المحكمة) إلى مصرع ٦١ نسمة وجرح ٢٨٢ نسمة وتدمير منشآت عمرانية قدرت بنحو ٢٠ مليون دولار. وبعد مضى ٨ساعات أخرى وصلت موجات التسنامى إلى سواحل هنشو فى اليابان (أى بعد أن عبرت الموجات البحرية مسافة ١٠,٦٠٠ ميل فى ٢٣

ساعة تقريباً) وأدت إلى تدمير أكثر من ٢٥٠,٠٠٠ منزل ولقى أكثر من ١٨٠ ألف نسمة مصرعهم، وقدرت قيمة الخسائر المادية بأكثر من بليون دولار.

ونتج عن حدوث زلزال لشبونة فى عام ١٧٧٥ تكوين موجات بحرية زلزالية عالية، اندفعت من البحر على أجزاء المدينة وهدمت الكثير من المنشآت العمرانية فيها . بل استطاعت المياه تكوين بحيرات ساحلية قرب مدينة لشبونة من بينها بحيرة لوموند Loch Lomond وبحيرة نيس Loch Ness

٤- الانزلاقات الأرضية الزلزالية : Earthquake Landslides

عندما تتعرض المناطق الجبلية الشديدة التضرس ذات الحافات الصخرية العالية والتى تكثر فيها التكوينات الرملية والطينية أو المناطق التلالية الطينية للزلازل العنيفة، كثيراً ما تحدث فهيا الانزلاقات الأرضية. ولا تزيد نصف قطر المنطقة المعرضة لمثل هذه الانزلاقات عن ٣٠ ميل . ومن أشد الانزلاقات الأرضية التى نتجت بفعل الزلازل تلك التى حدثت فى مدينة بورت رويال Port Royal فى جامايكا نتيجة لزلزال يونيو فى عام ١٩٦٢. وقد دمرت الانزلاقات الأرضية المدينة بأكملها ، واكتسحت الألسنة الطينية والأتربة جميع مبانى المدينة بل انزلق أكثر من ٦٠ ٪ من المدينة إلى البحر المجاور ، ولقى أكثر من ٢٠,٠٠٠ نسمة مصرعهم بسبب الانزلاقات الأرضية.

وعندما تتعرض المناطق التلالية الطينية والمغطاة بتربة اللويس فى الصين لحدوث الزلازل ينجم عن ذلك تكوين الانزلاقات الأرضية التى تكتسح كل ما يقع أمامها من منشآت عمرانية. فقد نتج عن زلزال كانسو فى ١٦ ديسمبر عام ١٩٢٠ حدوث انزلاقات أرضية عنيفة فى مناطق تربة اللويس، ولقى أكثر من ٢٠,٠٠٠ نسمة مصرعهم تحت الأتربة والألسنة الطينية. وتعرضت منطقة كانسو الصينية من جديد لحدوث

الزلازل فى عـــام ١٩٢٧ ، وفى هـذه المرة لـقى نحـــو ١٠٠,٠٠٠ نـســمــة مصـرعهم بسـبب حدوث الانزلاقـات الأرضـية . ومن بين الزلازل التى أدت إلى تكوين انزلاقات أرضـية عنيفة زلزال انكوراج فى السكا الذى حـدث فى ٢٨ مـارس عـام ١٩٦٤. وزلـزال هبـجنHepgen فى ولاية مـونتـانا فى ١٧ اغسـطس سنة ١٩٥٩.

٥ - تشقق سطح الأرض : Cracks in the ground

من المظاهر الخطـرة عند حدوث الزلازل تشـقق سطح الأرض وابتـلاع فتـحاتهـا لكل شئ يمكن أن يسـقط عـبر فتـحات الشـقوق. ونجم عن زلـزال طوكيـو فى عـام ١٩٢٣ تشـقق أسطح الطرقـات وتدمـيـر أجزاء واسـعة من سطـح المدينة (شكل ٨٤) كـما أدى ـلزال كـاليـفـورنيـا فى عـام ٦ ١٩ إلى تشـقق لجزاء واسـعة من سـطح الأرض.



شكل (٨٤) تشقق سطح الأرض بعد زلزال طوكيو فى عام ١٩٢٣

ولكن قد يغـالى بعض الكتاب فى تحـديد قدرة الأرض على أن تتـشـقق بفعل الزلازل وتتـسـع فتحاتهـا وتبتلع قرى بأكملهـا بمن فيها وعليـها ، ثم تلتحم شـقوق الأرض من جديد، ويعود مـظهر سطح الأرض كما كـان عليه الحال قبل حدوث الزلـزال.

وكتب بعض المغالين عن زلزال لشبونة فى أول نوفمبر سنة ١٧٥٥ بأن الأرض انشقت وابتلعت فتحاتهاقرية بكامل سكانها الذين كان عددهم نحو ١٠,٠٠٠ نسمة ، وبعد مرور بضع دقائق انقفلت فتحات الشقوق مرة أخرى وعاد سطح الأرض من جديد إلى حالته الأولى قبل حدوث الزلزال وكأن شيئاً لم يكن (١).

٦ - تغير مناسيب سطح الأرض : Changes in land level

قد يصاحب بعض الزلازل العنيفة تغير مناسيب أجزاء واسعة من أراضى المنطقة التى أصيبت به وذلك بسبب هبوط بعض الأراضى، وارتفاع بعضها الآخر . فنتيجة لزلزال عام ١٨٨١ فى كل من ولايتى ميسورى وتنسى هبطت أجزاء من الأرض بلغت مساحتها أكثر من عدة آلاف من الأميال المربعة، بل كان هبوط بعضها شديداً بحيث تكونت بحيرات هابطة متوسطة مساحة كل منها نحو ٢٠ ميلاً مربع. ومن الزلازل المشهورة التى نتج عنها تغيير مناسيب سطح الأرض زلزال خليج ياكوتاتYakutat فى السكا الذى حدث فى عام ١٨٨٩، وزلزال شيلى الذى حدث فى عام ١٩٦٠ ، وزلزال خليج ساجامى فى عام ١٩٢٣.

التوزيع الجغرافى للزلازل

تحدث الزلازل فى مناطق متناثرة من أجزاء العالم، ولكن هناك مناطق محددة تحدث فيها الزلازل بنسبة أكبر من غيرها فى المناطق الأخرى. ومثل هذه المناطق المعرضة دائماً لحدوث الزلازل تعرف باسم أحزمة أو نطاقات الزلازل Earthquake Belts .ومن دراسة التوزيع الجغرافى للمراكز الباطنية للزلازل فى العصر الحديث يمكن أن نلخص الملاحظات الآتية:

١- أشد نطاقات للزلازل حدوثاً هو ذلك النطاق الحلقى حول المحيط الهادى Circum Pacific Belts والمعروف بحلقة النار ، ويتمثل فيه نحو ٧٨٪ من مجموع الزلازل. وعلى الرغم من أن هذا النطاق هو أهم مناطق حدوث البراكين فى العالم، غير أنه من الخطأ اعتبار حدوث الزلازل نتيجة تلقائية لحدوث البراكين ، بل أن كلا من البراكين والزلازل تحدث فى هذا

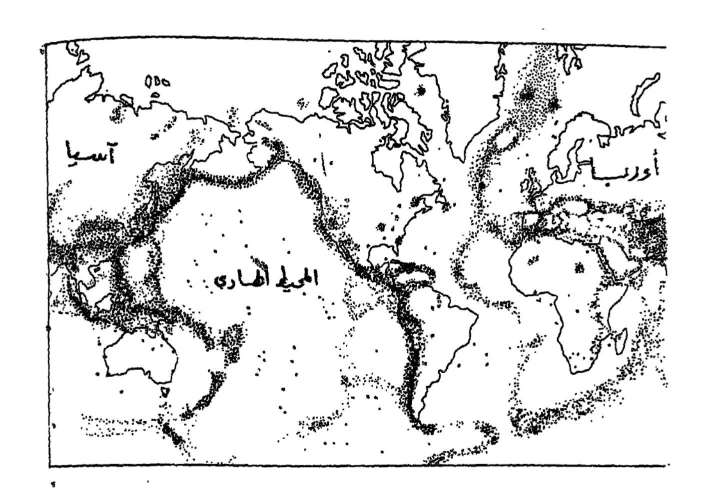
(1) Done Leet, L.and Judson, S., " physical Geology ". Prentic-Hall, (1965)p.298.

النطاق لكونه ضعيفاً جيولوجياً ،فهو عبارة عن مناطق إلتقاء صخور السيال بصخور السيما من ناحية وانه من أهم مناطق الالتواءات الألبية الميوسينية الحديثة من ناحية أخرى. ومن ثم فإن صخور هذا النطاق غير مستقرة، ومعرضة دائماً لتأثير الحركات التكتونية.

ب - يضم نطاق البحر المتوسط نحو ٢١٪ من مجموع الزلازل. ويرتبط حدوث الزلازل فى هذا النطاق مع المناطق الالتوائية الألبية فى أوروبا غير المستقرة جيولوجياً. وقد أوضحت نتائج دراسات الزلازل بأن أخطر الزلازل وأشدها عنفاً وتدميراً هى تلك التى تحدث فى كل من الفلبين وإيطاليا والصين وتركيا واليابان والمكسيك ويشبه جزيرة البلقان على الترتيب.

هذا وتحدث الزلازل فى أرضية المحيطات وخاصة عند الحواجز المحيطية الكبرى ، كما قد تحدث الزلازل فى مناطق شبه مستقرة من الكتل الأركية الصلبة مثل زلزال نيوفوند لاند فى عام ١٩٣٩ وفى الأخاديد الصدعية العنيفة كما هو الحال فى الأخدود الأفريقى العظيم .(شكل ٨٤ ب)

وفى السنوات الأخيرة تعرضت أجزاء متفرقة من المناطق الصدعية فى الأخدود الأفريقى العظيم لإعادة التوازن وحدوث الصدوع العميقة على أسطحها القديمة وتسببت فى حدوث الزلازل والتى امتد أثرها إلى المناطق السكنية المجاورة لهذا الأخدود كما حدث فى القاهرة وشبه جزيرة سيناء ومناطق من الأردن ولبنان . ومن أحدث هذه الزلازل ذلك الذى ضرب كل من سوريا ولبنان والأردن والسعودية ومصر فى يوم ١٩٩٥/١١/٢٢ على طول مناطق متفرقة من الصدوع العميقة فى الأخدود الأفريقى العظيم . وكانت قوة هذا الزلزال تتراوح من ٦ إلى ٧,٢ درجة بمقياس ريختر وتمركز فى منطقة نويبع على رأس خليج العقبة. ونجم عن حدوث هذا الزلزال تصدع المبانى وتساقط المنشآت العمرانية وتشقق سطح الأرض فى مناطق حدوثه. ومن ثم يتضح بأن الزلازل غير البراكين حيث أنها قد



(شكل ٨٤ ب) التوزيع الجغرافى للزلازل فى العالم .

تحدث فى كل من المناطق غير المستقرة تكتونياً (مثل البراكين) وكذلك فى المناطق المستقرة تكتونياً والمتأثرة بالأخاديد الصدعية الكبرى، مثل مناطق الأخدود الأفريقى العظيم الذى تمتد ابعاده فى الكتلة الأفريقية وفى كتلة الدرع العربى. وتثير مثل هذه الزلازل القلق بين العلماء ، حيث أن مناطق حدوثها تميزت لفترة طويلة بالاستقرار التكتونى ، وإن إعادة حدوث الزلازل فيها قد يدل على تحرك شبه الجزيرة العربية وزحزحتها شمالاً ، وتحرك الجوانب الصدعية لأخدود البحر الأحمر .

ويختلف عدد الزلازل التى تحدث فى قشرة الأرض من عام إلى أخر. كما قد تتعرض أجزاء من قشرة الأرض لزلازل عنيفة جداً فى عام ما ثم إلى زلازل ضعيفة جداً فى عام أخر . وقد أوضح جوتنبرج Gutenberg من دراسته لعدد مرات حدوث الزلازل فى قشرة الأرض فيما بين عام ١٩٠٤ وعام ١٩٤٦، بأن المتوسط السنوى لعدد الزلازل التى تتعرض لها قشرة الأرض قد يبلغ نحو ١٥٠,٠٠٠ زلزال . وأكد جوتنبرج كذلك بأن قشرة الأرض قد تتعرض فى بعض السنوات لحدوث أكثر من نصف مليون زلزال ، إلا أن القسم الأكبر منها عبارة عن زلازل غير محسوسة ولا تسجلها إلا أجهزة الرصد السيزموجرافية الحساسة جداً (١). ومع ذلك فلا يزيد المتوسط السنوى لعدد الزلازل العنيفة جداً عن زلزالين، ويبلغ عدد الزلازل القوية نحو ١٢ زلزالاً سنوياً ، وتتلخص دراسات جوتنبرج عن عدد الزلازل والمتوسط السنوى لحدوثها فى قشرة الأرض فيما بين عام ١٩٠٤ إلى ١٩٤٥ فى الجدول الآتى :

قوة الزلازل	قوة الزلازل	المتوسط السنوى لعددها
عنيفة جداً	٧,٧ ـــ ٨,٦	٢ ملحوظة جداً
قوية	٧,٠ ـــ ٧,٧	١٢ من محسوسة إلى ضعيفة
مخربة إلى	٦,٠ ـــ ٧,٠	١٠٨ من ضعيفة إلى ضعيفة جداً
ضعيفة .	٥,٠ ـــ ٦,٠	٨٠٠
	٤,٠ ـــ ٥,٠	٦٢٠٠ من ضعيفة إلى ضعيفة جداً
ضعيفة جداً	٣,٠ ـــ ٤,٠	٤٩٥٠٠ ولا تسجلها إلا أجهزة
	٢,٥ ـــ ٣,٠	١٠٠,٠٠٠ الرصد الزلزالى

ثانيا - البراكين

عندما تنبثق الماجما من باطن الأرض قد تظهر على سطح الأرض على شكل مخروطات هرمية الشكل من المصهورات البركانية تعرف باسم البراكين(١) Volcanoes . وقد تظهر على شكل انسيابات وفرشات لافية وتكون الهضاب البركانية Volcanic Plateaux. ويعزى أسباب تكوين المخروطات البركانية الهرمية الشكل إلى خصائص التركيب الكيميائى للماجما والمصهورات البركانية عبر فتحة كبرى رئيسية تعرف باسم قصبة البركان Volcanic Neck وتصل قصبة البركان بين مصدر الماجما فى باطن الأرض وأعالى المخروط البركانى على سطح الأرض، وتتخذ المصهورات البركانية طريقها إلى الأرض عبر القصبة الرئيسية للبركان.وعندما تصل المصهورات البركانية إلى سطح الأرض تتجمع وتساهم فى بناء المخروط البركانى Volcanic Neck . ويختلف شكل المخروط البركانى تبعاً لخصائص التركيب الكيميائى لمواد اللافا ،فى حين يختلف حجمه تبعاً لكمية المواد المنبثقة من البركان . ويطلق على الأطراف العليا للقصبة البركانية وفتحتها التى تخرج منها المصهورات البركانية

---

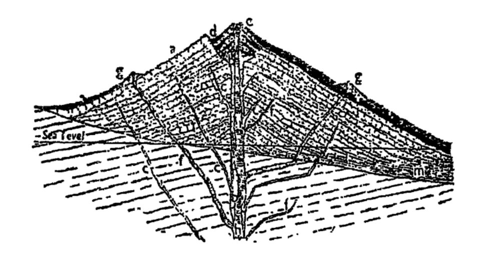
(١) يدل مصطلح بركان على فتحة فى قشرة الأرض تنبثق منها اللافا أو الماجما magma(أى الصخور المنصهرة molten rocks) والغازات من باطن الأرض إلى سطحها . ويعود أصل هذا المصطلح إلى اسم فالكان Volcan إله النار عند الرومان القدماء ، وسميت بهذا الإسم جزيرة البركان الواقعة بجوار الساحل الشمالى الشرقى لجزيرة صقلية. ويستخدم هذ المصطلح اليوم عند الدلالة على المخروط البركانى الى يتكون من تجمع المواد اللافية المنبثقة من الفتحة الرئيسية للبركان واشتق من هذا المصطلح عدة مشتقات ثانوية منها « بركانى » Volcan ic ، والقوة البركانية أو الفعل البركانى Vol-canesm وعلم البراكين Volcanology والعالم المتخصص فى دراسة البراكين Volcanologist وأقدم إشارة لهذا المصطلح فى التراث الجغرافى الإسلامى نجدها عند المسعودى فى كتابه مروج الذهب (٢٢٦هـ) وقد أطلق على البراكين تعبير « أطام النيران» ومفردها « أطمة» (د. عبد الله الغنيم ١٩٨٨ - ص ٥ - ١١). ويذكر المسعودى كذلك فى كتابه « التنبيه والإشراف » بأنه كان هناك جبلاً فى صقلية يعرف باسم جبل البركان وتخرج منه عين النار التى كانت تعرف باسم « أطمة صقلية » . ونجد فى التراث الجغرافى الإسلامى دراسة وصفية رائعة للبراكين والأطام فى الجزر الأيولية الواقعة فى البحر الأيولى شمال شرق جزيرة صقلية فى كتابات البكرى والإدريسى والزهرى . ويتضح من نص الحميرى الذى عاش فى القرن التاسع الهجرى إن « البركان » هو اسم الأطمة التى يخرج منها النار كالتى بجزيرة صقلية.

اسم الفوهة البركانية Volcanic Crater . ويختلف حجم واتساع الفوهة البركانية من فوهات صغيرة لا يزيد نصف قطر كل منها عن عدة أمتار، فى حين أن هناك فوهات بركانية هائلة الحجم يزيد نصف قطرها عن عشرات الأمتار ولها جدران عائلية حائطية عالية ،وفى هذه الحالة تعرف باسم الكالديرا Caldera . وليس من الضرورى أن يكون للبركان فوهة واحدة ، بل قد يتمثل على جوانب المخروط البركانى عدة فوهات ثانوية تستمد اللافا من شقوق وفتحات ثانوية تتصل بالقصبة الرئيسية للبركان (شكل ٨٣).

وحيث تعمل المصهورات البركانية على بناء المخروط البركانى نفسه فإنه كلما كانت هذه المصهورات هائلة الحجم ودائمة التدفق، يرتفع المخروط ويزداد حجمه، أما إذا انخمدت المصهورات البركانية وتعرض البركان لفترة من الهدوء النسبى، فيتعرض بدوره لفعل عوامل التعرية التى تعمل على تشكيل الخروط البركانى ونحت الأجزاء الضعيفة منه.

والبراكين النشيطة الدائمة الثوران Active قليلة جداً على سطح الأرض ومن بينها بركان سترمبولى Strmboli بجزر ليبارى قرب جزيرة صقلية والمعروف بمنارة حوض البحر المتوسط . وتنبثق المصهورت البركانية والسنة اللهب من فوهة البركان مرة كل دقيقتين.

وأغلب البراكين فوق سطح الأرض من النوع المتقطع الثوران أو هادئة نسبياً Dormant حيث ينخمد النشاط البركانى خلال فترة من الزمن ، ثم يتجدد من جديد خلال فترة أخرى . ومن بينها بركان أتنا بجزيرة صقلية .وهناك مجموعة ثالثة من البراكين تعتبر خامدة Extinct ، أى انخمد النشاط البركانى فيها تماماً منذ فترة زمنية طويلة وأصبحت تتشكل بعوامل التعرية التى أخذت على عاتقها نحت جوانب المخروط البركانى والذى لا يتبقى منه فى النهاية سوى القصبة البركانية الشديدة الصلابة. ومن بين أمثلة الهياكل البركانية شيبروك Shiprock فى المكسيك وديفلزتور (برج الشيطان) Devil"s Tower فى ولاية وايومنج بالولايات المتحدة الأمريكية.



شكل (٨٥) قطاع لأجزاء مخروط بركانى مركب ولاحظ ما يلى :

a ـ المخروط الرئيسى للبركان

b ـ انسيابات اللافا داخل القصبة الرئيسية.

c ـ العروق النارية.

d ـ فوهة جديدة داخل الفوهة القديمة.

e ـ مخروط الفوهة البركانية الجديدة.

f ـ عروق نارية أحدث عمراً.

g ـ مخروطات جنينية صغيرة تستمد اللافا من عيون جانبية

m ـ رواسب بحرية قديمة .

إلا أن تصنيف البراكين إلى مجموعات نشيطة وهادئة وخامدة لا يعد تقسيماً عملياً دقيقاً، ذلك لأن بعضاً من البراكين الهادئة أو الخامدة قد تتعرض لثورانات بركانية جديدة تجدد من دوراتهاونشاطها، وتنبثق منها بذلك مصهورات بركانية هائلة، وتدخل من جديد ضمن مجموعة البراكين النشيطة. وقد اعتبر سكان مدينتى بومبى Pompeii وهاركلانيوم Hercula-

meum فى نابلى بإيطاليا أن بركان سوما Monte Somma كان بركاناً ـ امدأ حتى عام ٧٩ ميلادياً لانخماد نشاطه البركانى لمدة بلغت أكثر من ٧٠٠ سنة . ولكن فى عام ٨٠ ميلادياً تجدد نشاط البركان وانبثقت منه الحمم والمصهورات البركانية معلنة تجديد حياته وميلاد بركان نشيط فى قلب البركان القديم وسمى هذا البركان الجديد باسم بركان فيزوف Vesuvius

المواد التى تنبثق من البراكين

تنبثق من البراكين مواد مختلفة، بعضها يتألف من أجسام صلبة وأخرى من مواد سائلة وبعضها الآخر غازات ، وتتلخص نوعية تلك المواد وخواصها العامة فيما يلى:

١ـ المواد الصلبة : وتتألف من الآتى :

المقذوفات البركانية الحطامية Pyroclasts

عندما تنبثق المصهورات اللافية عبر قصبة البركان تعمل على تحطيم صخر قشرة الأرض فى منطقة فوهة البركان وتتطاير بذلك المفتتات الصخرية المحطمة ـ بعد تشكيلها بالمواد اللافية ـ إلى أعلى وتتساقط على مسافات مختلفة من منطقة الفوهة تبعاً لاختلاف حجمها وقوة الدفع التى تعرضت لها، ويطلق على هذه المواد الصخرية المفتتة والتى انغسلت بمواد اللافا اسم المقذوفات الحطامية البركانية Pyroclasts .وتتألف المقذوفات الحطامية من المجموعات الآتية:

١ـ مقذوفات حطامية بركانية خشنة الحبيبات :

ومن بينها القنابل البركانية Bombs وكتل السكوريا Scorea (أى كتل اللافا المخرمة ذات الفقاقيع الغازية) وصخر الخفاف Pumice ، ومجمعات صخية حطامية من الصخور الأصلية للمنطقة قبل ظهور فوهة البركان . (أو بعد أن يهدأ البركان وتنخمد اللافا فى الفوهة وعند ثوراته من جديد تتطاير القطع الصخرية المفتتة من اللافا القديمة المتماسكة). وتتجمع المفتتات الصخرية بعد اختلاطها بمواد اللافا على شكل كتل تراكمية

تعرف باسم البريشيا البركانية Agglomerate or volcanic breccia

وتتألف القنابل البركانية أساساً من مواد اللافا عند تجمدها بالقرب من سطح الأرض ، وعندما تنبثق من فوهة البركان تتطاير في الجو وتدور حول نفسها بشدة ومن ثم تكتسب الشكل البيضاوى أو الأهليلجى. أما إذا كانت مواد القنابل البركانية غير مرنة، فإنه عند دورانها حول نفسها بشدة أثناء تطايرها فى الجو تتشقق أسطحها وتصبح عل شكل « رغيف الخبز المحمر» ويطلق عليها عندئذ تعبير Bread-Crust bomb

أما قطع صخر الخفاف فتتميز بأنها عالية المسامية نتيجة لانحباس كميات كبيرة من الغازات فى مواد اللافا ومن ثم فإن هذا الصخر منخفض الوزن جداً وقليل الكثافة ويطفو على سطح الماء

ب - مقذوفات حطامية بركانية دقيقة الحبيبات

يتطاير من فوهة البركان احياناً مقذوفات حطامية بركانية على شكل قطع صغيرة الحجم جداً ، ويظهر الكثير منها فى حجم حبة البازلاء وتعرف هذه المقذوفات الدقيقة الحجم باسم الحمرات أو الحصى البركانى Lapilli . وتبعاً لدقة حجم هذه الحبيبات الصخرية فإنها تتطاير إلى أعلى لبضع مئات من الأمتار فوق فوهة البركان ومن ثم تتساقط كذلك بعيدة عن فوهة البركان بمسافات كبيرة جداً

جـ - الرماد البركانى : Volcanic Ashes

عبارة عن مواد معدنية دقيقة أو مجهرية الحبيبات تخرج من فوهة البركان وتتطاير إلى أعلى لمسافات عالية مندفعة مع الغازات وتبعاً لخفة وزن الرماد البركانى فإنه يظل معلقاً فى الجو لمدة طويلة بل وينقل مع الرياح لمسافات بعيدة جداً وعلى سبيل المثال استطاع رماد بركان كراكاتاو Krakataoأن يرتفع فى الجو لمسافات عالية وأن يدور حول الكرة الأرضية دوره كاملة قبل أن يتعرض للتساقط . كما شوهد هبوط الرماد البركانى المنبعث من بركان فيزوف بعد إحدى ثوراته فوق مدينة استنبول .

٢- المواد المنصهرة السائلة: اللافا[1] Lavas

اللافا Lavas أو الحمم أو الطفوح البركانية هى عبارة عن المصهورات البركانية التى تنبثق من فوهات البراكين أو من الشقوق فى سطح الأرض وتنساب فوق هذا السطح مكونة المخروطات والهضاب البركانية. أما إذا انحبست هذه المصهورات البركانية داخل قشرة الأرض ولم تتعرض للبرودة السريعة فوق السطح فتعرف فى هذه الحالة باسم الماجما Magma.(٢)

وتختلف درجة حرارة اللافا عند سطح الأرض تبعاً لخصائص تركيبها الكيميائى ونسبة الغازات الممثلة فيها، وتؤثر هذه العوامل الأخيرة كذلك فى مظهر اللافا ودرجة سيولتها وانسيابها.

وتتراوح درجة حرارة اللافا من ٦٠٠°م إلى ١٢٠٠م° ويمكن القول بأن اللافا البازلتية القاعدية دائماً أعلى حرارة من الأنواع الأخرى من اللافا عند سطح الأرض . وتتميز **اللافا القاعدية** Basic Lava كذلك بأنها عالية المرونة وتكثر فيها الغازات ومن ثم تصبح أكثر سيولة وتنساب من أعالى المخروط البركانى وتنحدر على جوانبه وتحت أقدامه لمسافات طويلة قبل أن تتعرض لعمليات البرودة والتجمد. أما **اللافا الحمضية** Acid Lava أى الغنية بالسليكات فتتميز بأنها شديدة اللزوجة وثقيلة الوزن وعالية التماسك . ومن ثم تكون هذا اللافا قليلة السيولة وبطئية الانسياب وتتراكم حول الفوهات والشقوق البركانية التى تنبثق منها ولا تبتعد السنتها وفرشاتها كثيراً عن هذه الفوهات.

---

(١) يطلق بعض الكتاب على هذا التعبير اسم « اللابا» ولكن حيث استخدم تعبير « اللافا» فى الدراسات الجغرافية والجيولوجية وأصبح استخدامه شائعاً لذا سيظل استخدامه فى دراستنا هذه .

(٢) إستخدم الكتاب العرب فى التراث الجغرافيالإسلامى تعبير « الحرة » وجمعها حرار أو حرات مرادفاً لتعبير اللابة (وجمعها اللابات) وتدل الحرة أو اللابة على الحقول الفسيحة من سطح الأرض المغطى: بالصخور البازلتية السوداء اللون الناشئة عن تصلب الصهير المنبثق من فوهات البراكين – راجع عبدالله الغنيم (١٩٨٨) ص٢٢ .

وتتراوح سرعة انسياب اللافا أثناء خروجها من فوهة البركان من ٣٠إلى ٦٠ ميلاً فى الساعة، ولكن لا تزيد سرعتها فى معظم الأحيان عن ميل احد فى الساعة . ويختلف شكل سطح اللافا عن سطح المياه ، حيث يتشكل بظواهر مختلفة تبعاً لتركيب اللافا الكيميائى وعمليات البرودة التى تتعرض لها . ويمكن أن نميز الأسطح التالية:

أ ـ أسطح اللافا التى تبدو على شكل كتل: Block Lava

وتعرف فى هاواى باسم «آه آه» Aa or Ah Ah، ويظهر هذا النمط فى اللافا شبه المتجمدة والتى تتسرب منها الغازات فجأة، فعند استخدام اللافا فوق سطح الأرض تنفصل فرشاتها بعضها عن البعض الاخر،وكل منها يبدو على شكل كتل لافية مندمجة ومختلط فيها بعض المقذوفات الحطامية البركانية.

ب ـ أسطح اللافا الخيطية أو الجبيلة: Roby Lava

وتعرف فى هاواى باسم « با هو هو » Pa hoe hoe ،ويتكون هذا الشكل من أسطح اللافا عندما تتميز الأخيرة بارتفاع درجة حرارتها وعند تسرب الغازات منها ببطء وفى هدوء .ومن ثم تتجمد أسطح اللافا وتتشكل بحذوذ عميقة ويصبح سطحها كأنه يتركب من عديد الخيوط والحبال المتجاورة. (شكل ٨٦)



شكل (٨٦ أ) أسطح اللافا الحبلية أو الخيطية الشكل .

وإذا تكونت اللافا الخيطية فوق أرضية البحار والمحيطات فتساعد مياه البحر والضغط الواقع فوق اللافا على سرعة تجمدها وجمع حبالها وخيوطها وكبسها واندماج بعضها بالبعض الآخر ، ويؤدى ذلك فى النهاية إلى تمييز سطح اللافا بشكل خاص يطلق عليه تعبير اللافا الوسادية Pillow lava. وقد تظهر هذه الأسطح اللافية على سطح الأرض إذا تعرضت أرضية البحار لحركات الرفع التكتونية كماحدث بالنسبة لمنطقة تايفاليش Tayvallich فى أرجيل شير Argyllshere فى ويلز.

وقد تظهر اللافا فى بعض الأحيان على شكل فرشات بازلتية هائلة السمك فوق سطح الأرض، وعندما تتعرض لعمليات التجمد والتماسك تتكون فيها كثير من الشقوق الرأسية والعرضية وتكتسب اللافا نتيجة لذلك الشكل العمدانى Columnar Structure

٣- الغازات البركانية:

ينبثق مع المصهورات البركانية الصلبة والسائلة كميات كبيرة من بخار الماء والغازات تقدر بنحو ٥ ٪ من جملة حجم المصهورات البركانية . كما تتراوح نسبة بخار الماء من ٦٠ إلى ٩٠ ٪ من جملة الغازات التى تنبثق من الفوهات البركانية. وتمثل النسبة الباقية الأخرى مجموعة من الغازات أهمها ثانى أكسيد الكربون والنتروجين وغازات أحماض الأيدروكلوريك والكبريتيك والنشادر . وتتراوح درجة حرارة تلك الغازات أثناء انبثاقها من فوهات البراكين من ١٠٠ إلى ٥٠٠م° . ولا يقتصر خروج الغازات من فوهات البراكين أثناء حدوث الثورانات البركانية فقط ، بل قد ينبعث من البراكين الساكنة كميات هائلة من الأبخرة والغازات دون أن يصاحبها انبثاق للمصهورات اللافية.

وتتركب الغازات البركانية أساساً من بخار الماء، وبعض الغازات الأخرى مثل ثانى أكسيد الكبريت وثانى أكسيد الكربون والأكاسيد الأحادية Monoxide (تحتوى على ذرة واحدة من الأكسجين فى الجزيئ) والأكاسيد الثلاثية Trioxide والهيدروجين وحمض الهيدروكلوريك

وحمض الهيدروفلوريك والنتروجين والأرجون. وأكدت نتائج التحاليل المعملية لصخر الجرانيت المنصهر عند درجة حرارة ٩٠٠أم وتحت ضغط عال جداً أن هذا الصخر يشتمل على ٦٪ من وزنه ماء . فى حين أن الماجما البازلتية المنصهرة تحتوى على نحو ٤٪ من وزنها ماء، وتبلغ نسبة المواد الطيارة فى الماجما نحو ١٪ من جملة وزنها. ويلاحظ أن بعض الغازات البركانية يرجع مصدرها الأصلى إلى الباطن العميق لجوف الأرض فى حين أن بعضها الآخر مثل الغازات الكبريتية تكونت فى مواد الماجما بالقرب من سطح الأرض(١).

وتقاس درجة حرارة الماجما المنصهرة بواسطة أجهزة خاصة منها الأجهزة المزدوجة الحرارية Thermocouples وأجهزة البيرومتر البصرية Optical pyrometers. وتتراوح درجة حرارة الماجما عند انبثاقها من فوهات براكين هاواى من ١١٠٠أم إلى ١٢٠٠أم وتبرد اللافا البازلتية هنا عند درجة حرارة ٩٨٠مْ . فى حين كانت درجة حرارة الماجما عند فوهة بركان أوشيما فى اليابان (أثناء فترة ثورانه فى عام ١٩٥١) تتراوح من ١٠٤٠أم إلى ١٠٩٥أم. هذا وتقاس درجة لزوجة الماجما القاعدية أو درجة تدبقها Viscosity بجهاز البنترومتر Penetro meters . وقد تبين أن متوسطات قيم لزوجة الماجما القاعدية تتراوح من ٦٥٠٠ إلى ٧٥٠٠ بويز Poises (أى وحدة اللزوجة المطلقة) عند درجة حرارة ١١٣٥أم فى حين تتراوح من ١٠,٠٠٠ إلى ١٥,٠٠٠ وحدة « بويز » فى حالة اللافا الحمضية السليكية .

وتساعد الغازات الذائبة فى مواد الماجما على تقليل كثافتها وسهولة تحركها وانسيابها فوق سطح الأرض. وقد تبين أن مواد المصهورات البركانية التى لا تزال تحتوى على بعض الغازات فيها يمكن لها أن تنبثق من باطن الأرض وتنساب فوق سطح الأرض حتى إذا انخفضت درجة حرارتها إلى أقل من ٦٠٠أ م . أما إذا تسربت الغازات من مواد المصهورات اللافية ، فيؤدى ذلك إلى شدة لزوجة اللافا وتماسكها وسرعان ما تتجمد بعد خروجها من الفوهات البركانية بأيام قليلة.

---

(1) a-- Bullard, F.M, "Volcanoes ..." Edinburgh, (1962).
b-- Mac Donald, G.A., "Volcanoes... " N.Y. (1972).

وينجم عن خروج الغازات والأبخرة من فوهات البراكين تكوين نطاقات هائلة الحجم من السحب المنخفضة الكثيفة، وكثيراً ما تكون سوداء اللون تبعاً لكثرة الرماد البركاني فيها، ويظهر فيها كذلك ألسنة من النيران تبعاً لاحتكاك ذرات الرماد بعضها بالبعض الآخر، ومن ثم تسمى أحياناً بالسحب البركانية المتوهجة وعندما تتعرض هذه السحب لعمليات التكاثف تسقط على شكل أمطار غزيرة وتؤدى إلى حدوث الانسيابات الطينية البركانية . وهذه الأخيرة قد تعمل على تدمير المناطق العمرانية التى كانت تقع بجوار البركان قبل ثورانه

ويلاحظ بأن الغازات والأبخرة التى تنبثق مع البراكين تكون مياه لم تكن موجودة على سطح الأرض من قبل، بل هى اصلاً مياه باطنية، وأطلق الجيولوجيون عليها تعبير المياه الأولية Juvenile Water وتعمل هذه المياه على إضافة مورد جديد من المياه لمياه البحار والمحيطات وقد أوضح الباحثون أن من بين أسباب ارتفاع نسبة ملوحة مياه البحار وكثرة نسبة الكلوريدات فيها يعزى إلى تأثيرالمياه الأولية التى تتكثف من الغازات البركانية والتى ترتفع فيها نسبة الكلوريدات [٢]

---

(١) أ- حسن أبو العينين ، الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم ، الجزء الأول ، مع آيات الله فى السماء والجزء الثانى مع آيات الله فى الأرض - مطبعة العبيكان - الرياض - السعودية . (١٩٩٦) .

(٢) حسن أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة الحادية عشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الأسكندرية (١٩٩٥) .

تصنيف المخروطات البركانية وثوراناتها

تختلف أشكال المخروطات البركانية تبعاً لخصائص المصهورات والمقذوفات البركانية. وقد يكثر وجود اللافا المنصهرة فى مصهورات بركان ما فى حين قد يشتد تطاير وانبثاق المواد الحطامية الصخرية فى بركان آخر.

كما يتنوع شكل المخروطات البركانية بحسب اختلاف التركيب الكيميائى لمواد اللافا القاعدية والحمضية. ويصنف الباحثون أشكال الثورانات البركانية بعضها عن البعض الآخر، فهناك براكين تتميز ثوراناتها بكثرة السحب القاتمة وأخرى لا يصحب ثوراناتها مثل هذه السحب ، فى حين تتميز بعض البراكين الأخرى ومنها بركان فيزوف بدورات محددة من النشاط والثوران البركانى ، ويظهر فى كل دورة شكل مميز لثوراناته وفيما يلى عرض موجز لتصنيف أشكال المخروطات البركانية وثوراناتها.

أولاً - أشكال المخروطات البركانية

Types of Cones

ميز الأستاذ كوتون فى عام ١٩٤٤ [١] بين مجموعتين مختلفتين من المخروطات البركانية هما:

أ - المخروطات اللافية Lava Cones وتتركب المخروطات البركانية فى هذه الحالة من اللافا أساساً والمصهورات البركانية.

ب - المخروطات البركانية التى تتألف من الحطام البركانى وصخور الخفاف Pumice Cones ، حيث يتمزج مع المصهورات البركانية نسبة كبيرة من الغازات والحطام الصخرى البيروكلاستى.

(1) Cotton, C.A., " Volcanoes and Landscape Forms " Wellington, N.Z. (1944)p.416.

ثم عدل كوتون هذا التقسيم وصنف أشكال المخروطات البركانية فى أربع مجموعات رئيسية هى:

أ- المخروطات البازلتية القاعدية Basal. Cones

ب- المخروطات الدرعية أو الهضبية Shield Cones

جـ- مخروطات الرماد البركانى Ash or Cinder Con

د- المخروطات الطباقية المركبة Composite or Strato-Cones

أما الأستاذ آرثر هولمز (١) فقد ميز المخروطات البركانية فى خمس مجموعات رئيسية تبعاً لاختلاف حجمها وأشكالها وتتلخص هذه المجموعات فيما يلى:

١ - المخروطات الجنينية الصغيرة: Embryonic Cones

وهى عبارة عن مخروطات بركانية محدودة الارتفاع مؤلفة من المصهورات اللافية وتحيط جوانبها مقذوفات المفتتات الحطامية البركانية Pyroclasts . وتتمثل هذه المخروطات فى المناطق الحديثة التعرض للبراكين ، وإن دلت على شئ فإنما تدل على بداية ميلاد مراحل تكوين المناطق البركانية . ومثل هذه المخروطات الصغيرة تستمد اللافا من عيون متفجرة صغيرة Explosion Vents ، وتبعاً لكثرة العيون البركانية فى مناطق تكوينها تتألف من عدة مخروطات بركانية صغيرة متجاورة. ومن بين أمثلة تلك المخروطات ما يتمثل فى منطقتى ايفل Eifel وسوابيا Swabea إلى الشرق من الغابة السوداء، وفى بعض أجزاء من الفرع الغربى للأخدود الأفريقى العظيم بالقرب من رونزورى Ruwenzoric. وعندما تنخمد الثورانات البركانية فى تلك العيون البركانية الصغيرة تمتلأ بالمياه وتظهر على شكل بحيرات تحيط بها جسور من الصخور والمقذوفات البركانية.

(1) Holmes., A., " Physical Geology " , London, (1958) p.452.

٢- مخروطات الغبار والرماد البركانى : Ash or Cinder Cones

تتكون مثل هذه المخروطات عندما ترتفع نسبة المقذوفات الصخرية الحطامية Pyroclastic Materialsمع المواد اللافية . وتتوقف سرعة نمو مخروطات الرماد البركانى تبعاً لسرعة تكوين الحلقات اللافية والمواد الصخرية الحطامية حول فوهة البركان [١] . ومن ثم تتميز أعالى المخروط البركانى ، ببنائه من مخروطات صغيرة من الرماد والمقذوفات الحطامية البركانية . ومن بين نماذج هذه المخروطات تلك لبركان مونت نوفو Monte Nuovo الذى يبلغ ارتفاعه ٤٣٠ قدم وتكون فى منطقة نابلى بعد حدوث ثورانات بركانية استمرت لمدة ست سنوات منذ عام ١٥٣٨ ، ومخروط بركان رابوال Rabaul الذى تكون فى جزيرة نيوبريتان فى عام ١٩٣٧

٣- القباب اللافية : Lava Domes

لا تبدو البراكين فى هذه الحالة مخروطية أو هرمية الشكل ، بل يغلب عليها المظهر القبابى، ويعزى ذلك إلى خصائص التركيب الكيميائى لمواد اللافا. فعندما تتألف اللافا الحمضية من نسبة مرتفعة من السليكات وخاصة ثانى اكسيد السليكون تؤدى إلى تكوين صخور الريوليت -Rhyo lite والدسيت Dacite والتراكيت Trachte والزجاج الطبيعى Obsıdians وتتميز هذه اللافا إبان انصهارها بشدة لزوجتها Highly Vescous وشدة تماسك جزئياتها ،ومن ثم تضعف درجة انسيابها وتحركها ولا تبتعد كثيراً عن العيون والفوهات البركانية التى انبثقت منها، وعلى ذلك تتكون مخروطات لافية قبابية الشكل عامة بالقرب من العيون الجانبية والرئيسية للبركان.

وإذا تجدد نشاط البركان وانبثقت منه لافا غير لزجة فتعمل الأخيرة على تكسير اللافا الحمضية القديمة فى منطقة الفوهة وتبنى مخروطات أخرى جديدة. ومن بين أمثلة ذلك ما حدث لمخروطات براكين ساركوى

(1) Longwell, C.R., Knopf. A., and Filnt, R.F., "Out-lines of Physical geology " , N.Y(1947)p.210.

Sarcoui ومخروطات براكين هضبة أوفرن Auvergne، ومخروط بركان مملون Mamelons شمال مدغشقر.

وإذا تكونت مخروطات شبه قبابية فى منطقة الفوهة الرئيسية للبركان. ثم تجدد النشاط البركانى، قد تعمل المصهورات اللافية الجديدة على دفع اللافا الحمضية إلى أعلى وتظهر الأخيرة على شكل عمود هائل الارتفاع كما هو الحال بالنسبة لمخروط بركان مونت بيليه Mont Pelee التى تكون فى عام ١٩٠٢.

٤- المخروطات الهضبية أو الدرعية: Shield Cones

تتألف المخروطات الهضبية أو الدرعية الشكل من اللافا البازلتية القاعدية العالية المرونة والسيولة. وعلى ذلك فعندما يثور البركان وتنبثق منه اللافا. تنساب على جوانب المخروط البركانى بسرعة، وتنحدر لمسافات بعيدة تحت أقدام البركان قبل أن تتجمد . ونتيجة لاستمرار ثورانات البركان تتكون فرشات لافية هائلة الحجم تحت أقدام البركان متراكبة فوق بعضها البعض ويؤدى ذلك إلى زيادة انتشار المصهورات اللافية حتى يصبح المخروط على شكل هضبة واسعة الامتداد من جهة ، وتقل درجة انحدار جوانبه من جهة أخرى . ففى منطقة فوهة المخروطات الهضبية يتراوح الانحدار من ٨ْ إلى ١٠ فى حين يتراوح من ٢ْإلى ٥ْ عند قاعدة المخروط البركانى[1].

ومن بين أظهر أمثلة المخروطات الهضبية أو الدرعية تلك التى تتمثل فى مخروطات براكين جزر هاواى وجزر ساموا وجزيرة ايسلند . ومن بين المخروطات الهضبية فى جزيرة هاواى مخروط بركان مونالوا Mauna Loa الذى يبلغ ارتفاعه نحو ٣٠,٠٠٠ قدم فى حين يزيد قطر قاعدته عن ٧٠ميل ، مما يدل على أن المخروط البركانى أشبه بهضبة بركانية منها إلى شكل المخروط الهرمى التقليدى. وينتمى إلى هذه المجموعة كذلك مخروطات براكين موناكيا Mauna Kea وكوهالا Kohalla وكيلاويا Ki-lauea بجزيرة هاواى (١).

(1) Longwell, C.R., Knopf. A., and Filnt, R.F., " Out-lines of physical geogology ", N.Y.(1947)p.219.
(2) (1) Holmes, A., " Physical Geology ", London, (1958) p.455.

٥ - المخروطات المركبة : Composite Cones

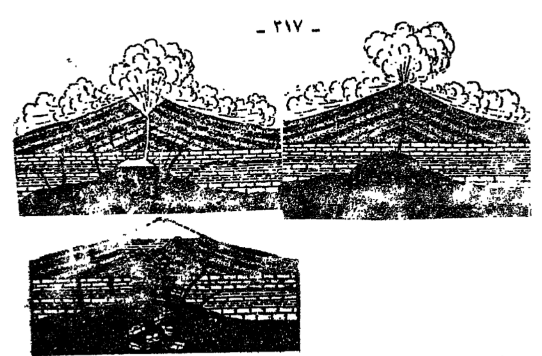
أهم ما يميز هذه المجموعة من البراكين تنوع المواد المنبثقة فيها من ثوران بركاني إلى آخر، ومن ثم تشكيل المخروط البركاني بعدة خصائص تجمع أكثر من نوعين من أشكال المخروطات البركانية التي سبق ذكرها(١). فقد يتكون المخروط البركاني في بداية نشأته من مواد حطامية صخرية مختلطة مع اللافا ويظهر على شكل قباب حطامية وبازلتية، وعندما يجدد البركان نشاطه مرة أخرى قد تنبق منه كميات هائلة من اللافا اللزجة القديمة وتفتيت لأجزاء المخروط الأصلي وبناء المخروطات الهضبية أو الدرعية . ثم قد تتشكل المخروطات الأخيرة بثورانات من اللافا اللزجة من جديد تنبثق من الفوهة الرئيسية ومن عيون وفتحات على جوانب المخروط البركاني . وهكذا يتشكل المخروط البركاني بظواهر متعددة على جوانبه، وقد يتمثل في فوهته أكثر من مخروط بركاني ذات أحجام صغيرة ويطلق على الفوهة البركانية في هذه الحالة Nest Crater or Cone in Cone . وإن دلت هذه الظواهر البركانية على شئ فإنما يدل على تعدد ثورانات البركان من فترة إلى أخرى، بل وفي كل فترة يتغير التركيب الكيميائي لمواد اللافا وتتنوع الصخورات والمقذفات البركانية.

وكثيراً ما تتعرض فوهات المخروطات المركبة لعمليات الهبوط وحركات التصدع، وينتج عن ذلك اتساع الفوهة، وشدة انحدار جوانبها الحائطية ويطلق على مثل هذه الفوهات الهائلة الحجم والاتساع اسم الكالديرا Caldera أو الأحواض البركانية . (شكل ٨٧).

وإذا انخمدت الثورانات البركانية تماماً تمتلأ الكالديرا بالمياه، وتصبح على شكل بحيرات بركانية مثل بحيرة أورجون Oregon في الولايات المتحدة وبحيرة توبا Toba في شمال غرب سومطره.

---

(١) يشير الأستاذ لونجيل C.R. Longwell إلى هذه المجموعة باسم البراكين التراكمية Strato Volcanes مثل بركان مايون التراكمي .



أ- ثوران البركان. ب- اتساع الفوهة.

جـ- حدوث الصدع الكبرى بالفوهة وهبوط أرضيتها وانخماد البركان.

شكل (٨٧) أ ، ب ، جـ ، مراحل تكوين الكالديرا

ومن بين نماذج المخروطات المركبة مخروط بركان إيزالكو إلى الغرب من سان سلفادور San Salvador فى أمريكا الوسطى. وقد بدأ هذا المخروط حياته الأولى على شكل مخروط من الرماد البركانى Ash Cone حتى عام ١٧٧٠م ولكن بعد ذلك نشط ثوران البركان وتدفقت منه كميات كبيرة من اللافا القاعدية العالية المرونة والسيولة أدت إلى اتساع قاعدة المخروط وتغطيته لأجزاء واسعة من المنطقة، ثم تعرض المخروط من جديد لحركة بناء إلى أعلى بفعل تراكم اللافا الحمضية السليكية على شكل قباب لافية فوق فوهته الرئيسية وبعض العيون الجانبية. وهكذا ارتفع مخروط إيزالكوا إلى نحو ٣٠٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة وينتمى إلى هذه المجموعة من البراكين المركبة مخروطات أتنا، وشاستا، ومونت بيليه. وحيث تتنوع المقذوفات البركانية طبيعياً وكيميائياً من ثوران إلى آخر بالنسبة للبركان الواحد، فإن معظم مخروطات البراكين تنتمى إلى مجموعة المخروطات المركبة.

ثانياً ـ أشكال الثورانات البركانية

Types of Eruptions

تختلف أشكال الثورانات البركانية من ثوران إلى آخر تبعاً لما يلى:

أ ـ مدى الضغط الناتج عن الغازات المصاحبة للمصهورات البركانية.

ب ـ كمية الغازات بالمصهورات البركانية.

جـ خصائص التركيب الكيميائى لمواد اللافا .

د ـ الأعماق التى انبثقت منها اللافا ومدى قوة اندفاعها إلى أعلى .

ومن ثم استطاع علماء البراكين تمييز عدة أشكال مختلفة من الثورانات البركانية قد يتميز بها بركان ما عن آخر، كما قد يثور البركان الواحد بأشكال من الثورانات المختلفة فى كل مرحلة من مراحل ثورانه. وتتخلص أهم أشكال الثورانات البركانية فيما يلى:

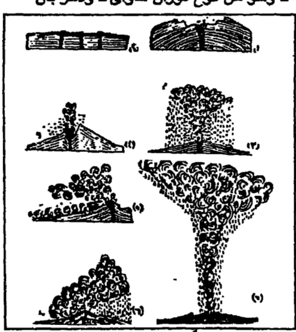
١ ـ ثورانات هاواى : Hawyiian Type

تتألف اللافا والمصهورات البركانية التى تتبع هذا الثوران من اللافا البازلتية العالية الانسياب والسيولة وتنسحب منها الغازات فى هدوء وبطء.

وتندفع اللافا على شكل نافورات هائلة داخل فوهة البركان، وتتجمع اللافا فى الفوهة حتى تصبح على شكل بحيرة لافية منصهرة وعندما تفيض اللافا تخرج من الفوهة وتنساب بسرعة على جوانب المخروط البركانى ، وإذا تعرضت نافورات اللافا فى منطقة أعالى الفوهة البركانية لرياح شديدة سرعان ما يتطاير منها أجزاء لافية ساخنة تتخذ لنفسها شكل الخيوط الانسيابية الرفيعة وتشكل عادة منطقة فوهة البركان وما يجاورها. ويطلق سكان هاواى على مثل هذه الظاهرة اسم « شعر بليه » Pele's hair ، وجاءت التسمية من اسم آلة النار بليه Pele عند سكان جزر هاواى [١].

ويصاحب حدوث ثورانات هاواى انبثاق كميات هائلة الحجم من اللافا الانسيابية والتى يكثر فيها الغازات ،وتؤدى هذه اللافا إلى تكوين قباب السكوريا Scoria mounds أى قباب من اللافا المخرمة، وتكثر مثل هذه القباب حول العيون الثانوية الجانبية للبركان. ومن ثم يتميز هذا النوع من الثورانات البركانية بالانسيابات البركانية الجانبية أو السفحية Flank eruption (شكل ٨٨) .

وقد وصف الباحث ماكدونالد [٢] Mac. Donald ثوران بركان مونالوا Mauna Loa فى عام ١٩٤٢ - وهو من نوع ثوران هاواى - وذكر بأن



شكل (٨٨) اشكال الثورانات البركانية.

١- ثوران هاواى
٢ - ثوران ايسلندة
٣- ثوران فالكان
٤- ثوران استرمبولى
٥- ثوران فيزوف
٦- ثوران بيليه
٧- ثوران بلينى

المصهورات اللافية قد انبثقت أساساً من الشقوق والعيون الجانبية للبركان، وقد مرت دورة الثورانات البركانية بالمراحل الآتية:

أ- تستغرق المرحلة الأولى وقتاً قصيراً تنبثق خلاله اللافا العالية الانسياب من العيون الجانبية وقد تكون القباب البازلتية المبعثرة والقباب الجانبية البازلتية الغازية Driblet Cones .

(1) Lacroix, A., " La montagne pellee apres ses erruption " Acad, Sci, Paris (1908)p,74-256.

(2) Mac.Donald, G.A., " The1924 eruption of Mauna loa Hawaii ", Amer, Jour.Sci, Vol. (1943)p,421-256.

ب - تنبثق اللافا المنصهرة فى المرحلة الثانية من فوهة البركان بعد أن تفيض تلك الفوهة باللافا الإنسيابية ومن ثم تتجمع اللافا على جوانب المخروط على شكل فرشات غطائية يتركب بعضها فوق البعض الآخر، ويساعد ذلك على بناء المخروطات الهضبية الشكل.

جـ - يقل انبثاق المصهورات اللافية من عيون البركان الرئيسية والثانوية، وتتشكل قباب اللافا على جوانب المخروط بفعل العوامل الخارجية.

٢. ثوران استرمبولى: Strombolian Type

لا تتركب المواد اللافية فى ثوران استرمبولى من اللافا القاعدية البازلتية العالية السيولة كما هو الحال فى ثوران هاواى ، بل يدخل فيها كذلك نسبة مرتفعة من اللافا الحمضية الغنية بالسليكات الثقيلة الوزن البطيئة الانسياب. كا تمتزج المواد السائلة المنصهرة بالمقذوفات الصخرية الحطامية. وعلى ذلك فعندما يثور البركان تنبثق اللافا الحمضية بصورة متقطعة وتتسرب الغازات على فترات متعاقبة كذلك مما يؤدى إلى حدوث انفجارات هائلة فى فوهة البركان .

وخلال حدوث هذه الانفجارات تتطاير كمية كبيرة من القذائف والقنابل البركانية وقطع السكوريا فى الجو وتتساقط على جوانب المخروط البركانى ، وتحت أقدامه. وقد تعمل تلك القذائف بدورها على إنارة السحب الممثلة حول الفوهة، ومن ثم أطلق الناس على بركان استرمبولى اسم «منارة البحر المتوسط» حيث يرتفع هذا البركان النشيط فوق إحدى جزر ليبارى Lipari (بالقرب من شمال جزيرة صقلية) بنحو ٣٠٤٠ قدم فوق سطح البحر.

٣- ثوران فالكان : Vulcanian Types

تتركب المقذوفات البركانية فى ثورانات هذه المجموعة من اللافا اللزجة Viscous Lava والتى تتحول بسرعة من حالة السيولة أو الميوعة إلى كتلة

صلبة عند ظهورها على السفوح الجانبية للمخروط البركانى. وعلى ذلك قد تكون اللافا عادة قشرة لافية متجمدة شديدة الصلابة فوق منطقة الفوهة البركانية،ولكن عند ثوران البركان من جديد يتمزق الغطاء اللافى القديم حول الفوهة، ويتطاير فى الجو كميا كبيرة من الرماد والغبار البركانى الممتزج بالغازات . وتساعد هذه العملية الأخيرة على تكوين كتل هائلة الحجم من السحب الكثيفة السوداء والتى تشبه زهرة القرنبيط Dark - Cauliflower - like Clouds وقد تعمل الرياح الشديدة على انتشار هذه السحب فى مناطق تبعد كثيراً عن فوهة البركان . وقد اعتبر الأستاذ مارسيلى Mercalli,1991 بركان فالكان Vulcano فى جزر ليبارى ، شمال صقلية المثال الرئيسى لهذه المجموعة من الثورانات. وقد أوضح الأستاذ لاكروا Lacroix فى عام ١٩٠٨ بأن بعض فوهات بركان فيزوف وثوران كراكاتاو فى عام ١٩٦٠ لها نفس خصائص ثوران فالكان.

٤ـ ثوران فيزوف: Vsuvian Type

يشبه ثوران فيزوف إلى حد ما ثوران فالكان حيث تتألف اللافا أساساً من مواد سليكية تؤدى إلى زيادة لزوجة اللافا وتراكمها فى منطقة فوهة البركان تبعاً لقلة سيولتها وضعف تحركها . وقد ينتج عن ذلك انسداد أجزاء من الفوهة الرئيسية للبركان تعمل كصمام يحبس أسفله كميات ضخمة من الأبخرة والغازات الحمضية اللزجة وشبه المتجمدة وتتطاير فى الجو وتندفع من فوهة البركان السنة هائلة من الغازات والمواد الحطامية الصخرية[1] (شكل ٨٩)

وقد وصف المؤرخ بلينى Pliny بركان فيزوف فى عام ٧٩ ق.م. وأكد بأن عمود الغازات والأبخرة ارتفع أعلى فوهة البركان على شكل نافورة عالية ويبلغ طوله أكثر من كيلو مترين .ومن ثم عندما يزداد ضغط الغازات وتنبثق السنة بهذا الارتفاع الهائل فيطلق على الثوران فى هذه الحالة تعبير ثوران بلينى Plinian Typs.

(١) للدراسة التفصيلية فيما يتعلق بشكل – بركان فيزوف ومراحل تطوره راجع : حسن أبو العينين ؛ أصول الجيومورفولوجيا ، الأسكندرية – الطبعة الحادية عشرة ١٩٩٦ .

٥ - ثوران بيليه : Pelean Type

وتتميز مجموعة ثوران بيليه بشدة لزوجة المصهورات اللافية كذلك وتعمل هذه اللافا على انسداد فوهة البركان وتحبس أسفلها كميات ضخمة من الغازات ، وكلما كانت فترة انحباس الغازات طويلة ساعد ذلك على زيادة تجمعها ، وعند ثوران البركان تندفع الغازات والأبخرة بقوة هائلة إلى أعلى وتحطم الغطاء اللافى للفوهة وتتطاير مواده على شكل قذائف وقنابل وصخور حطامية بركانية ويندفع بعدها السنة و سورات السحب المتوهجة اللامعة Nuees Ardenters or Glowing Clouds والتى تعرف باسم سحب بليه Pelean Clouds . وتتحرك هذه السحب بسرعة

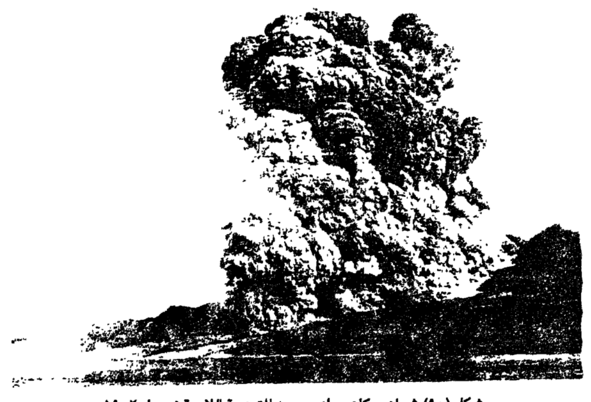


شكل (٨٩) ثوران بركان فيزوف وتمزيق القشرة اللافية وتطايرها فى الجو

كبيرة من منطقة البركان إلى المناطق المجاورة وتؤدى إلى انتشار الدمار والخراب فى المراكز العمرانية(١). (شكل ٩٠)

وفى بعض الأحيان عند انسداد فوهة البركان ، تندفع السنة هائلة الحجم من اللافا خلال العيون والفتحات الجانبية للمخروط البركانى وتتدفق اللافا بسرعة على شكل انهيارات لافية تكتسح كل ما يصادفها على جوانب المخروط البركانى. وقد نتج عن ثوران بيليه وسحبه الكثيفة المتوهجة فى عام ١٩٠٢ هلاك جميع سكان مدينة سانت بيير St- Pierre الواقعة بجوار البركان فوق جزيرة مارتنيك الفرنسية (من مجموعة جزر الانتيل الصغرى)، وقد لقى نحو ٣٠,٠٠٠ نسمة مصرعهم خلال ثوران هذا البركان فى عام ١٩٠٢.

(١) المرجع السابق - ص ٣٢٢- ٣٢٣



شكل (٩٠) ثوران بركان بيليه وسحبه المتوهجة اللامعة فى عام ١٩٠٢

وقد أضاف الأستاذ فرد بولارد Bullard, F. M[1] فى كتابه المشهور عن البراكين مجموعة أخرى من الثورانات البركانية وأطلق عليها اسم ثورانات إيسلند Ic landic Type . وأوضح بأن هذه الثورانات تندلع من الشقوق فى الطبقات الصخرية وتنبثق إلى السطح وتكون فرشات لافية تغطى مساحات واسعة من الأرض. ويعزى عدم قدرة اللافا على تكوين مخروطات بركانية إلى ارتفاع سيولتها من جهة وانبثاقها عبر كثير من الفتحات والشقوق من جهة أخرى. ومن بين نماذج هذه المجموعة الثورانات البركانية فى أيسلند التى كونت هضاب أيسلند ، والهضاب البركانية فى كولومبيا التى تنتشر فى القسم الشمالى الغربى من الولايات المتحدة الأمريكية.

(1) Bullard, F.M., " Volcanoes...", Edinburgh (1962).

بعض الظواهر الأخرى التى تصاحب حدوث البراكين

١- رخات الرماد البركانى : Ash showers

من المقذوفات المهمة التى تنبثق من الفوهات البركانية خاصة تلك التابعة لمجموعتى فالكان وبيليه الرماد البركانى . وقد أسفرت المعلومات التاريخية على أن الرماد البركانى كان معروفاً خلال العصور التاريخية الأولى، وأن مناطق واسعة الامتداد من سطح الأرض قد غطيت بكميات كبيرة منه عند ثوران بعض البراكين النشيطة .وقد نتج عن بركان تاراويرا Tarawera فى نيوزيلندا عند ثورانه فى عام ١٨٨٦ أن غطيت المناطق المجاورة له بالرماد وبمقذوفات صخرية مفتتة شغلت منطقة واسعة من الأرض بلغ قطرها نحو ٣٠ ميلاً كما إنبثق من ثورانه بركان تامبورا Tamboraفى جزر الهند الشرقية زهاء ١٥٠ ميلاً مكعباً من الصخور والمفتتات الصخرية والرماد. أما أشهر ثوران فهو ما حدث فى بركان كراكاتاو Krakatau فى عام ١٨٨٣ حيث انبثق من البراكين كميات هائلة من الرماد والمقذوفات الصخرية بلغ سمكها نحو ٢٠٠ قدماً وشغلت منطقة واسعة من الأرض بلغ قطرها نحو ٢٠٠ ميلاً، واستطاع الرماد أن يدور مع الغلاف الجوى حول الكرة الأرضية دورة كاملة.

وقد ينتج عن رخات الرماد البركانى وتغطيتها الأرض السهلية المجاورة حدوث أضرار وخسائر جسمية كما أنها تغطى سطح الأرض عادة بسحابة قاتمة سوداء من الأتربة والرماد والدخان تؤدى إلى هلاك الأرواح، وعلى سبيل المثال تسبب رماد بركان تامبورا فى جزر الهند الشرقية فى مصرع نحو ١٠٠,٠٠٠ نسمة.

ويؤثر اختلاف التركيب الجيولوجى للرماد والغبار البركانى عندما يسقط فوق سطح الأرض فى المظهر الجيومورفولوجى العام للإقليم الذى تتجمع فوقه هذه الرواسب.فإذا تميزت رواسب الغبار بشدة مساميتها فإن ذلك يساعد على تسرب المياه السطحية فى باطنها،أما إذا تكون الغبار البركانى من ذرات دقيقة الحجم وتداخلت أى مواد أخرى فيها وعملت كمادة لاحمة لهذه الذرات، فيبدو الغبار على شكل غطاءات إرسابية بركانية لزجة شبه صلصالية وغير مسامية.وتبعاً لهذه الخصائص فلا تساعد على تسرب المياه فى جوفها ومن ثم تشكل التصريف النهرى بخصائص غير

تلك التى فى الحالة الأولى. كما قد تعمل هذه الرواسب كذلك على طمس بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الثانوية لسطح الأرض،وذلك بردم المنخفضات المقعرة وتسوية أراضى القباب المحدبة ومن ثم تبدو المنطقة على شكل سهول مستوية تشغل سطحها الظاهرى المفتتات والرواسب البركانية.

وتتميز رخات الغبار البركانى عامة بكونها باردة ، إلا أن الغبار الذى صاحب السحب المتوهجة Nuees Ardentes لبركان بيليه فى عام ١٩٠٢ كان من السخونة لدرجة انه عمل على صهر قطع الزجاج التى تساقط عليها ، وقد نتج كذلك عنه رذاذ بركانى ساخن.

٢- انسياب الطين البركانى - لاهار- Volcanic Mudflows

قد تنساب من أعالى المخروط البركانى كميات ضخمة ، من الطين وتتحدر نحو أقدامه وإلى المناطق السهلية المجاورة. وحيث أن عملية انسياب الطين Mud Flows كثيرة الحدوث فى المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية خاصة عند حدوث الأمطار الأعصارية والسيول ، لذا اطلق الأستاذ كوتون فى عام ١٩٤٤ ، تعبير « لاهار» Lahars على الطين البركانى الزاحف تمييزاً له عن الإنسيابات الطينية الأخرى . وتساعد العوامل التالية على تكوين الطين البركانى الزاحف « لاهار »:

أ- سقوط أمطار غزيرة إبان تكوين السحب البركانية المتوهجة، تساعد على إرساب كميات ضخمة من الرماد والغبار،وعندما يمتزج بالمياه ، فقد يؤدى إلى تكوين فرشات طينية تنساب على سطح الأرض .

ب- امتزاج رواسب السحب المتوهجة المنخفضة عند انحدارها من فوهة البركان نحو الأراضى السهلية المجاورة، بأسطح المياه (مياه الأنهار والبحيرات..) . فى المنطقة.

جـ- تعرض مياه بحيرات فوهة البركان لفعل التبخر ، ثم امتلائها من جديد بالرماد.

وقد وصف الباحث سكريفنر Scrivenor فى عام ١٩٢٩، الطين البركانى الزاحف (لاهار) الذى نجم عن ثوران بركان جونونج كاليوت Gunog Keloet فى جاوة . وأكد أن التركيب الجيولوجى لمواد اللاهار تشبه تلك فى الرواسب الجليدية حيث أن كليهما يتركبا من رواسب ركامية غير طباقية ويتألفان من مفتتات صخرية مختلفة الشكل والحجم والنوع. وقد يكون زحف الطين البركانى سريعاً خاصة إذا ازداد حجم المواد التى تناسب من أعالى المخروط البركانى نفسه. وعندما ينساب الطين فوق الأراضى السهلية المجاورة يتميز سطحه بظهوره على شكل قباب متموجه الشكل وتتركب من تلال صغيرة Hummocks تشبه تلك الناتجة عن عمليات الانزلاقات الأرضية.

٣- القباب اللافية اللزجة : Plug Domes

عندما تتميز اللافا الحمضية الأندسيتية والرايوليتيةAndesitic and Rhyolitic Lavas بشدة لزوجتها ، فقد يصعب انسيابها أو زحفها نحو المنحدرات السفلى تحت أقدام المخروط البركانى. وقد ينجم عن شدة لزوجتها التصاقها بالأسطح المجاورة لفوهة البركان نفسه. وتبعاً لتوالى انبثاق اللافا قد يزداد تراكمها حول الفوهة الرئيسية مكونة قباباً لافية. وإذا تصادف تكوين مثل هذه المواد اللافية اللزجة فى شقوق تمتد أسفل طبقات صخرية، فقد تؤدى إلى رفع الطبقات الصخرية التى تقع فوقها ومن ثم تظهر الأخيرة على شكل قباب صخرية. ويطلق على القباب البركانية الناتجة عن تجمع المصهورات اللافية اللزجة اسم Plug Domes. وقد رجحت أسماء ثانوية أخرى بالإضافة إلى هذا التعبير العام لكى ترمز إلى الأشكال المختلفة التى تظهر عليها القباب . فإذا كانت القباب تشبه شكل نبات المشروم (عش الغراب) فيطلق عليها تعبير قباب عش الغراب Mushroom - like form, Cumulo domes or Tholoids أو القباب التراكمية.

وتعد ظاهرة القباب اللافية اللزجة واسعة الانتشار فى المناطق البركانية ومن بين أظهر أمثلتها قباب قمة لاسين البركانية Lassen فى الولايات المتحدة الأمريكية وقباب مونو Mono Craters على السفوح الشرقية لمرتفعات سيرانيفادا ، وبعض القباب اللافية التى تصاحب براكين الهضبة الوسطى فى فرنسا، وقباب جزر بوجو سلوف Bogoslof Islands فى خليج السكا.

٤- يواجه تعبير « الأحواض البركانية » كثيراً من النقد ذلك لأنه لا يميز بين الأحواض التى تنشأ تبعاً لعمليات ثوران أو انفجار البراكين Vol canec explosion وتلك التى تنجم عن عمليات الهبوط الأرضى -Subsi dence. ولا تزال تمثل مشكلة نشأة الأحواض البركانية الكبرى التى تعرف باسم « الكالديرا Calderas» فى الوقت الحاضر أهم المشاكل الحديثة فى علم البراكين Volcanology . وقد بذل كل من الباحثين ويليامز Williamsفى عام ١٩٤١ وجاكار Jaggar فى عام ١٩٤٧، جهداً كبيراً فى تصنيف الأحواض البركانية المختلفة . وقد ميز كل منهما ثلاث مجموعات رئيسة هى الفوهات البركانية، والكالديرا ، والأحواض التكتونية ويمكن أن نوجز تصنيفها فى البيان التالى:

(أشكال الأحواض البركانية) ثلاث مجموعات هى :

(١) الفوهات البركانية:

أ- الفوهات التى تنجم عن ثوران البراكين .

ب - الفوهات التى تنجم عن بناء جسور تراكمية حول مخرج القصبة الهوائية للبركان.

جـ - الفوهات التى تنجم عن عمليات الانهيار أوالهبوط .

(٢) الكالديرا : (الفوهات البركانية الكبرى)

أ- الكالديرا التى تنجم عن عمليات الانهيار أو الهبوط.

جـ الكالديرا المركبة النشأة .

(٣) الأحواض التكتونية البركانية:

ولم يظهر حتى الآن تقسيم جامع مانع يشمل كل انواع الأحواض والفوهات البركانية ويميز بين تلك التى تتشابه فيما بينها من ناحية الشكل إلا أنها تختلف عن بعضها البعض من حيث النشأة. قد أطلق بعض الكتاب تعبير « فوهات Craters» على كل الأحواض والمنخفضات مهما اختلفت احجامها وأشكالها أو تعددت نشأتها ، حتى شمل التعبير كذلك الأحواض الناشئة عن فعل سقوط الكويكبات بل وتلك الناجمعة عن فعل القنابل المتفجرة أو أعمال المناجم المختلفة. ولكن يرجح الكاتب بأن تعبير « فوهة بركانية Craters » يحسن أن يستخدم لكى يرمز إلى الفوهات البركانية النشأة الصغيرة الحجم نسبياً ، أما تعبير كالديرا Cal-deras ، فمن الأفضل أن يطلق على الأحواض أو المنخفضات الواسعة الاتساع والعمق معاً. ومما يساعد على زيادة حجم الكالديرا تعرض الفوهة لأكثر من ثوران بركانى وهبوط أرضيتها ، وتحطيم جوانبها ثم تجديد عملية بنائها من جديد ، ومن ثم تصبح هائلة الحجم . وبالتالى فإن الفوهة البركانية عبارة عن انخفاض على شكل طبق عميق Bowel · or Funnel shaped Depression من أصل بركانى . ويظهر محيط الانخفاض على شكل دائرة يحيطها حواف حائطية شديدة الانحدار جداً فى الاتجاه المواجه لمركز الفوهة أما الكالديرا فهى تشبه فوهة البركان من ناحية الشكل العام إلا أنها اكبر اتساعاً وحجماً، وقد يزيد متوسط الكالديرا عن خمسة أمثال متوسط قطر الفوهات البركانية العامة.

أما الأحواض التكتونية البركانية فيساعد على تكوينها تأثرالفوهات البركانية الكبرى بكل من فعل التصدع والهبوط . وقد تؤدى الصدوع إلى تكوين خوانق عميقة على سفوح المخروط تعرف باسم « Sector Grabens وقد رجح الأستاذ دالى Daly فى عام ١٩٣٣، أن نشأة هذه الخوانق العميقة يرجع إلى تأثر فعل تصدع وانزلاق الكتل الصخرية إلى المرمى الأسفل لهذه الصدوع، ثم انبثاق اللافا والحمم البركانية على طول أسطح الصدوع، وبذا تشكل المظهر العام للمخروط البركانى. وقد أطلق « دالى »

على مثل هذه الخنادق البركانية الصدعية اسم Volcanic Rents

ه- الهضاب والسهول البركانية : Volcanic Plateaus and plains

قد تظهر أحياناً في بعض أجزاء من سطح الأرض فوهات بركانية صغيرة إلا أنها متعددة وتندفع منها اللافا بكميات كبيرة، وتؤدى الأخيرة بدورها إلى بناء مناطق هضبية واسعة الامتداد. ويتميز سطح بعض هذه الهضاب كما هوالحال فى الهضاب البركانية فى حوض نهر سنيك Snake River ونهر كولومبيا Columbia فى أمريكا الشمالية باستوائه التام، بحيث يمكن أن يطلق عليها كذلك اسم السهولة اللافية Lava plains . ومن بين أحسن أمثلة الهضاب البركانية فى العالم تلك التى تشغل أجزاء واسعة من حوض نهر كولومبيا فى شرق ولاية واشنجتونWashington والهضاب البركانية فى كل من ولايات أروجونOregon و نيفادا Nevada ، أيداهو وهضبة يلوستونYellowstone فى ولاية وايومنج بأمريكا الشمالية. وكذلك هضبة الدكن فى شبه القارة الهندية، وهضبة دراكنزبرج Drakinsberg فى جنوب أفريقيا، وهضبة برانا Parana فى جنوب البرازيل، والهضاب البركانية فى أورجواى والأرجنتين، وهضبة أجنيمبريت فى أواسط الجزيرة الشمالية فى نيوزلند. وتتألف معظم هذه الهضاب البركانية من اللافا البازلتية Basaltic Lava إلا أن كلاً من هضبة يلوستون واجنيمبريت تتركب من صخور الرايوليت .Rhyolites

وتعتبر الينابيع اللافية فى هضبة كولومبيا من أنشط الينابيع البركانية ثوراناً فى العالم خلال العصور الجيولوجية المختلفة، حيث غطت اللافا مساحة تزيد عن ٢٠,٠٠٠ ميل ربع، كما تتركب من فرشات لافية شبه طباقية تقع متعاقبة فوق بعضها البعض ويتراوح سمكها من ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ قدم إلا أن سمك الفرشة أو « الطبقة » اللافية الواحدة يبلغ فى المتوسط نحو ٢٠٠ قدم . وتبعاً لشدة التعرية النهرية فى مجرى نهر سنيك فقد تمكن الأخير من تكوين أودية أخدودية عميقة جداً فى التكوينات اللافية بحيث أصبحت بعض أجزاء من وادية أشد عمقاً من

أخدود كلورادو العظيم. ففى بعض أجزاء على طول أخدود وادى سنيك قطع النهر اخدوداً عميقاً يمتد لمسافة طولها نحو ٤٠ ميلاً ومتوسط عمقه نحو ٥٥٠٠ قدم من سطح الأرض، وتنبثق كميات هائلة من اللافا خلال الشقوق الكثيفة المتشابكة التى تقطع ارضية الوادى ، وقد استطاع نهر سنيك فى بعض الأجزاء الأخرى أن يشق خانقاً بلغ عمقه نحو ١٠٠٠ قدم فى صخور الجرانيت التى تقع بدورها أسفل صخور البازلت.

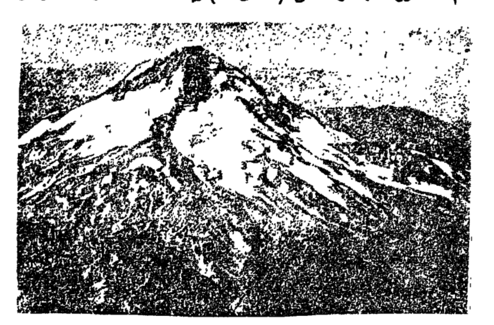
وتعد السهول اللافية فى حوض نهر سنيك التى تشغل الجزء الجنوبى من ولاية إيداهو مكملة لنطاق هضبة كولومبيا البركانية ، على الرغم من الأولى أقل وعورة وتضرساً من هضبة كولومبيا من ناحية ، كما أن اللافا البركانية البلايوسينية والبلايوستوسينية التى تغطيها أحدث عمراً من اللافا البركانية الميوسينية التى تتألف منها هضبة كولومبيا من ناحية أخرى . وينتشر فوق سطح الهضبة الأخيرة بعض التلال الانفرادية المنعزلة. وتعرف باسم Steptoes ، وقد جاءت التسمية من التلال البركانية المعروفة بهذ الإسم والتى تقع فى شمال كولفاكس Colfaxفى ولاية واشنطن ـ كما يتميز سطح هذه الهضبة كذلك بشكله القبابى المموج وذلك يرجع إلى انتشار المخروطات البركانية الصغيرة من جهة وإلى انبثاق الماجما والمقذوفات البركانية من الشقوق التى تظهر على السطح من جهة أخرى . وقد ذكر الأستاذ ستيرن Stearns فى عام ١٩٣٦ أنه لاحظ أكثر من ١٠٠٠ ينبوع بركانى على طول جوانب أخدود وادى سنيك فى هضبة كولومبيا ويعزى مصدر هذه الينابيع إلى اللافا البازلتية المنصهرة من أعماق بعيدة عن سطح الأرض.

وقد دلت الدراسات التى أجريت فى الهضاب البركانية فى أجزاء متفرقة من العالم على أن نشأة هذه الهضاب ترجع إلى توالى انبثاق المصهورات والمقذوفات والحمم البركانية خلال الشقوق وفتحات الفوالق الكبرى Fissure Eruption كما يعتقد كذلك أن عملية انبثاق المقذوفات البركانية حدثت ببطء وبهدوء شديدين ذلك لأنه لم يعثر فى تكوينات الهضاب على أى مواد صخرية حطامية بيروكلاستية مختلطة مع البازلت .

وعلى ذلك فهناك علاقة كبيرة بين اتجاه كل من المخروطات البركانية Spatter &Cinders Cones والشقوق والفوالق التى أثرت فى التركيب الجيولوجى للإقليم . وتظهر هذه العلاقة واضحة عند دراسة اتجاه الشقوق والفوالق والقباب البركانية البازلتية والغطاءات اللافية فى كل من الأخدود الأفريقى، وغور الراين الهابط Rhine Graben ومنطقة بييه البركانية Pyes فى هضبة فرنسا الوسطى.

٦- الهياكل البركانية : Volcanic Skeletons

عندما تتجمد الثورانات البركانية ، يظهر بوضوح آثار فعل عوامل التعرية المختلفة فى تشكيل المظهر العالم للبركان. ومن هنا تبدأ مرحلة هدم المخروط البركانى. (شكل ٩١) وإذا استمرت عوامل



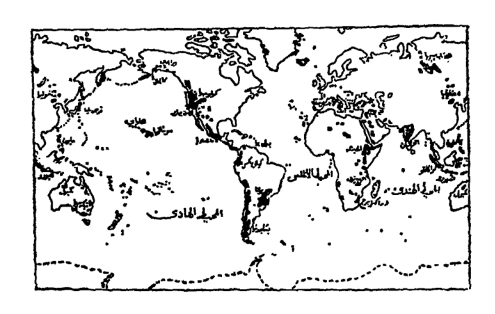
شكل (٩١) انخماد بركان مونت هود Hood Mount فى اوريجون بالولايات المتحدة، وتعرضه لفعل التجوية وعوامل التعرية.

التعرية فى نحت مخروط البركان مدة طويلة من الزمن، فقد ينجم عن هذه العملية تساقط جدران فوهة البركان إما فى باطن الفوهة نفسها أى فى غرف الصهير القديمة Magma Chambers أو تنزلق على السفوح

الجانبية للمخروط تبعاً لأثر الانحدار وفعل الجاذبية الأرضية. ويعمل على تفتيت صخور البركان كل من فعل التجوية الميكانيكية وعوامل التعرية المختلفة الأخرى، التى تنقل بدورها المفتتات الصخرية إلى مناطق بعيدة عن موقع البركان نفسه وتبعاً لتوالى عمليات التآكل والنحت فى المخروط البركانى فقد يزال أجزاء كبيرة من غطاءات اللافية بالتدريج ولا يتبقى منه فى النهاية سوى أعمدة رأسية بركانية تمثل قصبة البركان وتنتصب منعزلة فوق سطح الأراضى المجاورة ويطلق عليها اسم « الهيئات البركانية» ومن أجمل أمثلتها بركان شيبروك Shiprock فى المكسيك وهيكل سانت ميشيل St. Michl فى منطقة « بييه» فى فرنسا، وهيكل ديفل تور The Devil's Tower (١). فى ولاية وايومنج وكذلك بعض البراكين القديمة العمر فى ولايات أريزونا ويوتاه ومرتفعات كريزى Crazy Mts فى مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية.

التوزيع الجغرافى للبراكين.

يتمنى معظم البراكين الممثلة فوق سطح الأرض إلى القسمين الأوسط والأخير من الزمن الجيولوجى الثالث، وقليل من البراكين تعد حديثة العمر الجيولوجى، ومن النادر أن يتمثل فوق سطح الأرض براكين أقدم من الزمن الجيولوجى الثالث . وإذا كان عدد البراكين الخامدة التى تنتشر فى مناطق واسعة من سطح الأرض يزيد عن عدة آلاف فإن البراكين النشيطة لا يزيد عددها عن ٥٠٠ بركاناً وترتبط بمناطق محددة من سطح الأرض، ألا وهى المناطق الضعيفة جيولوجياً والحديثة النشأة ومن ثم فإن أظهر نطاق للبراكين يتمثل فى ذلك النطاق الذى يحيط بمعظم سواحل المحيط الهادى والمعروف باسم حلقة النار Ring of Fire ويقدر عدد البراكين الثائرة فى هذا النطاق بنحو ٣٠٠ بركاناً أى نحو ٦٠٪ من جملة عدد البراكين الثائرة أو النشيطة فى العالم. (شكل ٩٢).



شكل (٩٢) التوزيع الجغرافى لأهم البراكين والهضاب البركانية فى العالم

وتظهر براكين هذا النطاق الكبير فى أجزاء متفرقة من مرتفعات الأنديز بأمريكا الجنوبية ومرتفعات أمريكا الوسطى والمكسيك (سيراماديرا الغربية)، ومرتفعات الكاسكيد فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية، ومرتفعات كولومبيا البريطانية وقوس جزر الوشيان شمالاً. أما على طول السواحل الشرقية لآسيا فتظهر براكين هذا النطاق كذلك فى أقواس الجزر المحيطية فى شرق وجنوب شرق آسيا، خاصة فى مجموعات جزر الفلبين، وسيلبيس ونيوغينيا وسولون ونيو كاليدونيا وجزر نيوزيلند . ويوضح الجدول الآتى بياناً بالبراكين النشيطة فى حلقة النار حول المحيط الهادى.

الموقع (الجانب الشرقى للمحيط الهادى)	عدد البراكين	الموقع (الجانب الغربى للمحيط الهادى)	عدد البراكين
قوس الوشيان والسكا	٣٥	كمشتكا	٩
غرب الولايات المتحدة	١	كوريل	١٣
المكسيك	٩	اليابان	٣٣
جواتيمالا	١٤	الفلبين	٩٨
نيكاراجوا	٧	نيوغينيا	١٥
كوستاريكا	٥	جزر سولومون	٢
جزر الانتيل الصغرى	٩	نيوهبريدز	٧
مرتفعات الأنديز الشمالية	١١	تونجا	٦
مرتفعات الأنديز الوسطى	٩	كرمادوك	١
جزر الانتيل الكبرى	٢	نيوزيلند	٢

ومن دراسة هذا الجدول يتضح أن أكثر البراكين النشيطة عدداً بالجانب الشرقى من المحيط الهدى تتمثل فى كل من قوس جزر الوشيان والسكا،ومرتفعات جواتيمالا، ومرتفعات الأنديز الشمالية. أما على الجانب الغربى من المحيط الهادى فإن أكثر البراكين النشيطة عدداً تتمثل فى جزر الفلبين واليابان ونيوغينيا.

كما تظهر البراكين فى نطاقات ثانوية متناثرة تتلخص فيما يلى:

١ـ فى بعض الجزر المحيطية بالمحيط الهادى نفسه كماهو الحال بالنسبة لبراكين جزر هاواى. Hawaiian Is وجزر جلابا جوس Galapagos وجزر جوان فرناندز Juan Fernandes .

٢ـ فى بعض الأقواس الجزرية فى المحيط الهندى، حيث تظهر البراكين فى جزر تيمور Tompr وجاوة Java ، وبالى Bale وسومطرة Sumatra .

ويوجد فى جزيرة جاوة ١٩ بركاناً نشيطاً كما يبلغ عدد البراكين النشيطة فى جزيرة سومطرة ١١ بركاناً .

٣- نطاق براكين حوض البحر المتوسط، ويمتد هذا النطاق شرقاً ليشمل براكين مرتفعات أرارت Ararat ، ويضم غرباً براكين جزر أزورس Azores وكنارى Canary.

٤- نطاق براكين القسم الجنوبى من شبه الجزيرة العربية وجزيرة مدغشقر وبراكين الأخدود الأفريقى العظيم.

٥- نطاق براكين جزر البحر الكاريبى.

٦- نطاق براكين جزيرة أيسلندا.

أما أظهر المناطق التى تتميز بالبراكين الخامدة فتتمثل فى ولاية أريزونا ونيفادا ويوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية، وبعض براكين المكسيك ،وكذلك براكين إقليم أوفرن Auvergne region فى فرنسا ،وبراكين إقليم إيفل Eifel فى ألمانيا.

ثالثاً - النافورات والينابيع الحارة

Geysers and Hot Springs

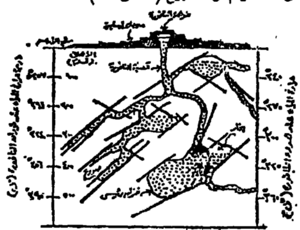
قد يرتبط مع مناطق البراكين ظواهر تضاريسية (بفعل القوى الداخلية الفجائية) قليلة الانتشار فوق سطح الأرض ولها بعض التأثير فى تشكيله وهى المعروفة باسم المداخن Formaroles والينابيع الحارة Springs والنافورات أو الفوارات الحارة .Geysers وليس من الضرورى أن تتمثل هذه الظواهر فى مناطق بركانية، بل قد تحدث كذلك فى مناطق لم تتأثر بالنشاط البركانى على الإطلاق ، إلا أن المياه المعدنية الحارة التى تنبثق مع الينابيع والنافورات الحارة لابد وأن تكون قد تجمعت فى باطن الأرض على مسافات بعيدة أو قريبة من سطح الأرض، وفوق صخور نارية ساخنة وتندفع المياه إلى أعلى بفعل الضغط الهيدروستاتيكى مكونة نماذج متعددة من تلك الظواهر السابقة. ومن الصعب التمييز بين كل من الظواهر المختلفة حيث إن هناك بعض أوجه الشبه فيما بينها، كما قد تتحول المدخنة إلى ينبوع حار أو نافورة حارة بمرور الزمن ، إذا ما ساعدت الظروف الجيولوجية على ذلك.

ويقصد بتعبير مدخنة Smoker انبثاق الأبخرة والغازات من شقوق فى الأرض، دون أن تخرج مياه جوفية ساخنة. وتتألف الغازات عادة من غاز ثانى أكسيد الكربون والأيدروجين ونسب قليلة من الكلور والميثان. وقد تتمثل المدخنة فى بعض المناطق البركانية، كما قد توجد فى مناطق غير بركانية .وفى هذه المناطق الأخيرة تندفع المياه الجوفية الساخنة من أعماق بعيدة وتتجه نحو سطح الأرض ، ولكن تبعاً لقلة كميتها أو لضعف قوة الضغط الهيدروستاتيكى الدافع لها، فإنها تتحول إلى غازات وتندفع تلك الغازات والأبخرة عبر فتحات الشقوق الصخرية مكونة المداخن كما هو الحال فى منطقة غالمة - بجايا - شمال غرب قسنطينه فى الجمهورية الجزائرية.

أما الينابيع أو العيون الحارة Hot springs فهى عبارة عن مياه جوفية تندفع من باطن الأرض باستمرار أو على فترات متقطعة، وتتميز المياه بارتفاع درجة حرارتها وعلى نسبة مرتفعة من الأملاح الذائبة والمواد

الشائبة وقد يختلط بالمياه مواد معدنية كالكبريت والأملاح القلوية والمواد الجيرية والسليكية وأملاح الراديوم. وقد تتسرب بعض هذه المواد بجوار فوهة الينابيع بعد تبخر المحاليل التي كانت تحتويها . وتتكون بجوار فوهات ينابيع ماموث الحارة في منطقة يللوستون بارك Yellow stone park في الولايات المتحدة- مدرجات جيرية تتألف من كربونات الكالسيوم الذائبة في مياه الينابيع.

أما النافورات أو الفوارات الحارة - الجيزر Geysers(١) فهي تشبه الينابيع الحارة من حيث ارتفاع درجة حرارة مياهها واحتوائها على نسبة مرتفعة من الأملاح والمعادن، وكثيراً ما تكون مياه النافورات جيرية أو سليكية . ولكن تختلف النافورات عن الينابيع الحارة في أن المياه تنبثق منها على شكل نافورات قد تكون هائلة الارتفاع - يتراوح ارتفاعها من بضعة أمتارإلى نحو ٥٠ متراً - وليس من الضروري أن تكون عملية انبثاق نافورات المياه الحارة مستمراً بل قد يحدث هذا الثوران على فترات منتظمة تتراوح كل بضع دقائق أو كل بضع ساعات بل وقد يستمر ثوران بعض النافورات الحارة لكل عدة أيام أو أسابيع (شكل ٩٣).



شكل (٩٣) قطاع لنافورات حارة يوضح درجة حرارة المياه قبل الثوران وبعده. وتجمع المياه الجوفية في خزانات عميقة متأثرة بالصدوع

(١) اسم الجيزر Geysers مكتسب من النافورة المعروفة بهذا الاسم والموجودة في أيسلند بالقرب من بركان هكلا Heckla . ويبلغ متوسط قطرها ٦٩ قدماً وعمق المياه فيها ٤ اقدام، وتتراوح درجة حرارة مياهها السليكية من ٧٥ - ٩٠° م .

ويعزى السبب فى ذلك إلى الوقت اللازم لتجمع المياه الجوفية فى قصبة النافورة وخزانها الجوفى ، وقد ترتفع درجة حرارة المياه بتأثير ملامستها للصخور الساخنة حول خزان وقصبة النافورة إلى الحالة التى تتحول المياه عندها إلى بخار (فوق درجة الغليان ١٠٠°م) ولكن لا تتحول المياه إلى بخار تبعاً للضغط الواقع عليها من عمود الماء المتجمع فى قصبة النافورة. وعندما تزداد درجة حرارة المياه سرعان ما يندفع جزء من المياه إلى أعلى، ومن ثم يقل الضغط الواقع فوق الخزان الجوفى وتتحول المياه فجأة إلى بخار . ويعمل البخار كذلك على دفع المياه بفعل الضغط الهيدروستاتيكى إلى أعلى خلال قصبة النافورة.وعندما تفرغ النافورة ما يتمثل بقصبتها من مياه تهدأ فترة الثوران إلى حين أن تتجمع المياه الجوفية داخل خزان النافورة الجوفى وقصبتها لتعيد ثورانها من جديد. (شكل ٩٤).





شكل (٩٤) ثوران نافورة أولد فيثفول Old Faithful فى حدائق يللوستون بالولايات المتحدة الأمريكية.

وقبل الحديث عن الظواهر التضاريسية المختلفة التى قد تصاحب حدوث النافورات الحارة يحسن أن نشير كذلك إلى مصادر مياهها . والعوامل التى تساعد على ارتفاع درجة حرارتها .

أ- مصادر مياه النافورات الحارة:

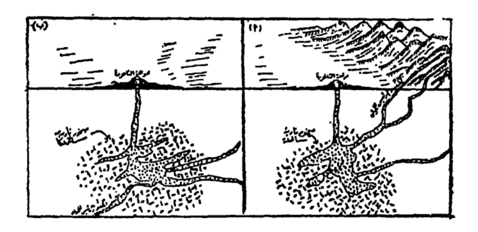
يمكن القول أن المصدر الرئيسى لمياه النافورات الحارة يتمثل فى مياه الأمطار والمياه المنصهرة من الثلج والتى تعرف باسم المياه الجوية Meteor-ic Water وتتسرب هذه المياه إلى أعماق بعيدة فى باطن قشرة الأرض . وتعمل خلال رحلتها الطويلة على إذابة بعض معادن الصخور وتحللها ويساعد حدوث عملية ذوبان بعض المعادن الصخرية ارتفاع درجة حرارة المياه فى هذه الأعماق البعيدة. أما المصدر الثانى لمياه الينابيع الحارة فيتمثل فى المياه اللافية أو مياه الصهير Magmatic Water المخزونة فى طبقات اللافا نفسها . وقد تحتوى المياه على بعض المعادن النادرة مثل الارسنيك Arsenic والبورون Boron وتعتبر نافورة كاتماى فى السكا Kutmai of Alaska من النافورات الحارة التى تستمد مياهها من مياه الصهير المخزونة فى تكوينات اللافا وتبلغ درجة حرارة مياهها نحو ١٦٠ْف . ويتبع هذه المجموعة من النافورات الحارة كذلك ، تلك التى تظهر فى جنوب ولاية إيداهو Idaho بالولايات المتحدة الأمريكية.

وتجدر الإشارة إلى نقطة هامة وهى أن الينابيع والنافورات الحارة التى تستمد مياهها من الأمطار ، يتذبذب مستوى الماء الجوفى فيها ، ويختلف مدى انبثاق المياه فى عمود أو قصبة النافورة إلى السطح تبعاً لتذبذب كمية الأمطار الساقطة أو تبعاً لفصل سقوط الأمطار طالما كان منسوب فوهة النافورة أعلى من منسوب مصادر المياه الجوفية . أما إذا كان منسوب فوهة النافورة أقل ارتفاعاً من منسوب مصدر المياه الجوفية ، ففى هذه الحالة يكون صعود المياه من قصبة النافورة دائم الانبثاق .

ب- أسباب ارتفاع درجة حرارة مياه النافورات الحارة:

على الرغم من أن مصادر مياه بعض النافورات الحارة ترجع إلى

«المياه الجـوية» الباردة، إلا أنه تبعاً لتغلغلها وتسـربهاإلى أعماق بعيدة فى جوف صـخور قشرة الأرض، أو تجـمعهـا فوق صـخـور نارية ساخنة ترتفع درجة حـرارتهـا قد تتميـز كذلك ارتفـاع نسبة الكبريتـية والمعـدنية الذائبة فيها. وعلى سبيل المثال ترتفع درجة حرارة مياه كل من نافورة يللوستون بارك Yellow - stone Park إلى نـحو ٢٢٠° ف ومـياه نافورة أولد فـيثـفول Old Faithful إلى نحو ٢٠٠°ف ، وتبلغ درجة حرارة ينابيع كهف مامـوث Mommoth Hot Springs نحو ١٧٠° ف .



شكل (٩٥) أنواع النافورات الحارة.

أ- نافورات دائمة الانبثاق.   ب- نافورات متقطعة الانبثاق.

ويعتبـر عـامل التـيارات الصـاعـدة أهـم العـوامل التى تؤثـر فى تنظيم درجـة حرارة مـياه الينابيع . وقـد أجريت عـدة أبحاث لمعـرفة أسـباب ارتفـاع حرارة مياه الينابيع الحارة، وقد أوضـحت نتائج هـذه الدراسا أن مياه نافورة « يللوسـتـون بارك» فى الولايات المتـحـدة الأمـريكيـة تكتـسب حـراراتهـا المـرتفعة تبعاً لانبثاقـها من أعـماق تتـراوح فيـما بين ٣٥٠٠ إلى ٩٠٠٠ قدم تحت سطح الأرض، وقد تبين كـذلك أن بعض المياه الجوفية قـد تنسـاب إلى أعمـاق بعيدة فى جـوف قشرة الأرض خـلال فتحـات الشقـوق الكبـرى (قد

يبلغ طولها عدة آلاف من الأقدام) وبالتالى ترتفع درجة حرارة هذه المياه لاحتكاكها بالصخور الساخنة. وتندفع هذه المياه الجوفية إلى أعلى خلال فتحات الشقوق بواسطة الضغط الهيدروستاتيكى Hydrostatic Pressure أو بواسطة الضغط الناتج عن الغازات تبعاً لبعض التفاعلات الكيميائية Chemical Reaction ،وإذا كا انبثاق المياه الجوفية خلال قصبة النافورة يظهر بشدة وباستمرار، فقد ينجم عن ذلك تكوين بحيرات صغيرة المساحة Hot Pools تتميز بارتفاع درجة حرارة مياهها.

رواسب النافورات والينابيع الحارة

تنبثق مع مياه النافورات والينابيع الحارة كمية كبيرة من الغازات كما تحتوى المياه نفسها على نسبة كبيرة من المعادن الذائبة. فإذا تغلغلت المياه الجوفية فى كتل صخرية من الريوليت أو فى صخور نارية سليكية، فقد تزداد فى هذه الحالة نسبة السليكا فى المياه الجوفية، كما يحدث ذلك فى منطقة « يللوستون بارك» Yellowstone Park Region التى ترتفع فى مياه ينابيعها ونافوراتها الحارة نسبة كبيرة من السليكا . أما إذا تغلغلت المياه الجوفية فى طبقات من الحجر الجيرى ، كما هو الحال فى منطقة ينابيع ماموث الحارة Mammoth Hot Spring Area ، فتزداد نسبة كربونات الكالسيوم الذائبة فى المياه.

وعند انبثاق المياه إلى سطح الأرض، يتعرض بعضها للتبخر وبعضها الآخر يبرد بالتدريج أو ينساب على شكل نهيرات صغيرة أو يتسرب ثانية إلى جوف الصخر، ومن ثم تتجمع المواد المعدنية المختلفة وينجم عنها ظاهرات جيومورفولوجية إرسابية ثانوية تشكل مناطق النافورات والينابيع الحارة. فقد تتجمع السليكات حول فوهات النافورات والينابيع الحارة على شكل مداخن أو مخروطات إرسابية Geysers Cones يتراوح ارتفاعها من ٥ إلى ١٥ قدماً فوق سطح الأرض المجاورة. وقد تكوّن بعض الينابيع الكبرى مجموعات هائلة الحجم من المدرجات الإرسابية Terraces (شكل ٩٦) كما هو الحال بالنسبة لينابيع ماموث الحارة فى ولاية كنتكى

بالولايات المتحدة الأمريكية، حيث أدت الرواسب الهائلة إلى تكوين مدرجات نافورية تتألف أساساً من كربونات الكالسيوم. وعندما تتجمع المياه المنبثقة من النافورات والينابيع الحارة إلى السطح وتتجمع فى بحيرات صغيرة من مياه ساخنة Hot Pools أو فى أحواض مغلقة، فكثيراً ما يحيط هذه المسطحات إطارات وحلقات من الرواسب المختلفة.



شكل (٩٦) مدرجات جيرية فى منطقة نافورات حارة.

أنواع النافورات الحارة ومظاهرها العامة

يمكن تصنيف النافورات الحارة تبعاً لاختلاف نظام إنبثاق المياه منها إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

(أ) مجموعة تخرج أو تنبثق منها المياه فى أوقات متقطعة Intermittent or Spasmodic Geyser ومن بين أنواعها نافورة أولد فيثفول Old Faithful

(ب) مجموعة تخرج أو تنبثق منها المياه باستمرار Flowing Geysers ومن أنواعها نافورة « يللوستون بارك» «Yellowstone Park».

ومن بين أهم العوامل التى تؤثر فى طبيعة انبثاق المياه الجوفية فى النافورات تتمثل فيما يلى:

(أ) العلاقة بين منسوب مصدر مياه النافورة ومنسوب فوهتها.

(ب) كمية المياه المتجمعة فى الخزانات الجوفية للنافورة.

(ج) درجة حرارة المياه الجوفية وكيفية تسخينها.

(د) حجم الغازات المنحبسة داخل خزان النافورة .

فإذا كان منسوب مصدر المياه الجوفية Catchment Area أعلى من فتحة النافورة يساعد ذلك على اندفاع المياه باستمرار. أما إذا كانت فتحة النافورة أعلى منسوباً من مصدر مياهها ، ففى هذه الحالة تنبثق المياه على فترار متقطعة. وعندما تقل كمية المياه الجوفية فى خزان النافورة، تصبح قصبة النافورة خالية من المياه، بينما تتفاعل كمية المياه القليلة مع الصخور الساخنة للخزان وتتكون كميات هائلة الحجم من البخار والغازات تساعد بدورها على ازدياد الضغط الهيدروستاتيكى وتبدأ المياه فى الاندفاع ثانية إلى أعلى.

وفى بعض الأحيان قد تندفع المياه الساخنة خلال قصبة النافورة ثم تتحول تدريجياً إلى أبخرة وغازات تبعاً لانخفاض قوى الضغط الهيدروستاتيكى الذى لم يستطع أن يقوم بعملية دفع المياه من فوهةالنافورة . وعلى ذلك يصبح عمود النافورة عبارة عن عمود من الأبخرة والغازات . وتتمثل هذه الحالة فى نافورة « أولى فيثفول Old Faithful» حيث تتحول كمية من المياه تبلغ نحو ٣٠٠٠ برميل إلى أبخرة وغازات فى نحو أربع دقائق، وبذا لا تستطيع المياه أن تكمل رحلتها إلى أعلى وأن تنبثق من فوهة النافورة. ولكن كل نحو ساعة من الزمن تتجمع بعض المياه فى خزان النافورة ويشتد عامة الضغط الهيدروستاتيكى تبعاً لزيادة الغازات فى قصبة النافورة ومن ثم تندفع المياه إلى أعلى لبضع دقائق ثم ينقطع انبثاقها عندما تضعف قوى الضغط ، لتكمل دورتها من جديد.

التوزيع الجغرافى للنافورات والينابيع الحارة فى العالم

لا يرتبط التوزيع الجغرافى للنافورات بخطوط الطول أو بدوائر العرض بل تنتشر فى كل من المناطق الاستوائية والقطبية على السواء. ومن ثم تتمثل النافورات والينابيع الحارة فى بقاع متناثرة فى كل من السكا وسيبريا، ومرتفعات الأنديز Andesوفنزويلا وبتاجونيا فى أمريكا الجنوبية. كما تتمثل النافورات فى أمريكا الشمالية ومنها منطقة « حدائق يللوستون» Yellowstone Park وتظهر بعض النافورات فى هضبة التبت فى آسيا ، وبعض النافورات المتناثرة فى كل من جزيرة ايسلند، وجزر آزورس . ويمكن القول أن اظهر مناطق النافور ات الحارة فى العالم اتساعاً تتمثل فى منطقة نافورات جزيرة أيسلند ومنطقة نافورات « يللوستون بارك » فى الولايات المتحدة الأمريكية.

أ ـ منطقة نافورات أيسلند:

تشغل منطقةالنافورات فى جزيرة أيسلند مساحة واسعة تبلغ نحو ٥٠٠٠ ميل مربع . وتعرف « النافورة» فى اللغة الأيسلندية باسم Gusher or Spouter وهى تعد من ظاهرات السطح المألوفة لسكان الجزيرة منذ تعميرها بالسكان ومن أشهر النافورات الكبرى فى أيسلند نافورة شتروكر Stroker . وتبعاً لزيادة كميات المواد الإرسابية المنبثقة مع مياه النافورات فى أيسلند، فقد تميزت نافورات هذه الجزيرة بتكوين عدة ظاهرات جيومورفولوجية إرسابية ثانوية منها المخروطات والمدرجات النافورية. وتغطى الأراضى السهلية المستنقعية التى تجاور نافورات أيسلند بالطحالب والأعشاب . وقد دلت الدراسات المختلفة على أن المصدر الرئيسى لمياه النافورات فى ايسلند يتمثل فى كل من الأمطار التى تسقط على المرتفعات وبعض المياه المنصهرة من الثلوج ويساعد على تسرب هذه المياه وتغلغلها فى جوف صخور قشرة الأرض كثرة الشقوق والفواصل فى صخور جزيرة أيسلند.

ب - منطقة نافورات يللوستون بارك Yellowstone park

تقع منطقة « يللوستون بارك» في الركن الشمالي الغربي من ولاية وايومنج ويجرى فيها الأجزاء العليا من نهرى يللوستون وبيج هورن Big Horn وبعض روافد الميسورى الأعلى. وتمثل هذه المنطقة حوضاً جبلياً تحيط به مرتفعات ابسروكا Absaroka Range في الشرق ومرتفعات جلاتين Gallatin في الشمال الغربي وهضبة مديسون Madison في الجنوب الغربي وقد تأثرت صخور هذه المنطقة بحركات صدعية شديدة، ومن ثم ظهرت معظم نافورات يللوستون بارك على طول أسطح الصدوع أو تصاحب فتحات الشقوق والفواصل الكبرى (هذا بخلاف نافورات إقليم ويمانجو Waimango في نيوزيلند التي تتكون في الأقاليم البركانية مصاحبة السدود الراسية . ونافورات أركانسس في الولايات المتحدة الأمريكية حيث تنبثق النافورات طبيعياً من الصخور الرملية المسامية المنثنية المقعرة)

وقد دلت الدراسات الجيولوجية على أن المصدر الرئيسي لمياه نافورات يللوستون تتمثل في مياه الأمطار التي تسقط على المرتفعات الجبلية التي تكاد تحيط بالمنطقة من كل جوانب وتتسرب بعض هذه المياه خلال فتحات الشقوق والفواصل وأسطح الصدوع التي تشكل صخر الحوض. وبعد أن تصل المياه إلى خزانها الجوفي الطبيعي، تتجمع فيه وترتفع درجة حرارتها تبعاً لتأثير الصخور الساخنة، وعلى ذلك تندفع المياه الجوفية إلى أعلى محاولة الوصول إلى سطح الأرض بفعل الضغط الهيدروستاتيكي.

وتتميز بعض أجزاء من جانبي وادى يللوستون الأخدودى بانبثاق كميات كبيرة من الغازات خلال فترات متقطعة. بل يرجح أن أهم العوامل التي ساهمت في تشكيل صخور جانبي هذا الوادى بالألوان المتعددة تلك الغازات المنبثقة من جوف الصخور والتي ساعدت بدورهاعلى حدوث التجوية الكيميائية لأسطح الصخور. ويتمثل في منطقة يللوستون بارك نحو ٢٠٠٠ ينبوع حار، ونحو ١٧٠ نافورة حارة، ومن بينها أكثر من

٢٠ نافورة . وتندفع مياه نافورة « أولد فيثفول Old Faithful » إلى نحو ١٥٠ قدم فوق سطح الأرض المجاورة.

ولا يتوقف فعل المياه الجوفية على ظهورها بأشكال مختلفة وتكوينها ظاهرات جيومورفولوجية ثانوية فوق سطح الأرض، بل تعمل كذلك على نشوء ظاهرات جيومورفولوجية فى جوف صخور قشرة الأرض كذلك. ويزداد أثر فعل المياه الجوفية خاصة إذا تغلغلت فى صخور عالية السمك من الطبقات الجيرية المسامية اللينة الرخوة كما هو الحال فى أقاليم الكارست الجيرية.

الفصل السابع

القوي الداخلية التدريجية البطيئة

، أولا ، الالتواءات - حركات الثنى والطى

تتعرض صخور قشرة الأرض لحركات رفع تكتونية بطيئة تتم فى صورة تدريجية خلال فترات طويلة من التاريخ الجيولوجى . ويعزى أسباب هذه الحركات الى الاضطرابات والتغيرات التى تحدث فى باطن الأرض . وعلى الرغم من أن حركات الرفع التكتونية تؤثر فى جميع أنواع الصخور وتؤدى الى تمعجها إلا أن الكتل النارية الصخرية عند تأثرها بمثل هذه الحركات تندفع الى أعلى وتظهر فوق سطح الأرض على شكل قباب وكتل جبلية نارية ، أما المناطق التى تتألف من صخور رسوبية ومتحولة قديمة العمر الجيولوجى (أى منذ العصر الكمبرى وأصبحت دروع قارية شديدة الصلابة) فمن النادر أن تتأثر بحدوث حركات الثنى والطى تبعا لصلابة الطبقات الصخرية ، ومن ثم عندما تتأثر بحركات الرفع التكتونية تتشكل بمجموعات مختلفة من الصدوع .

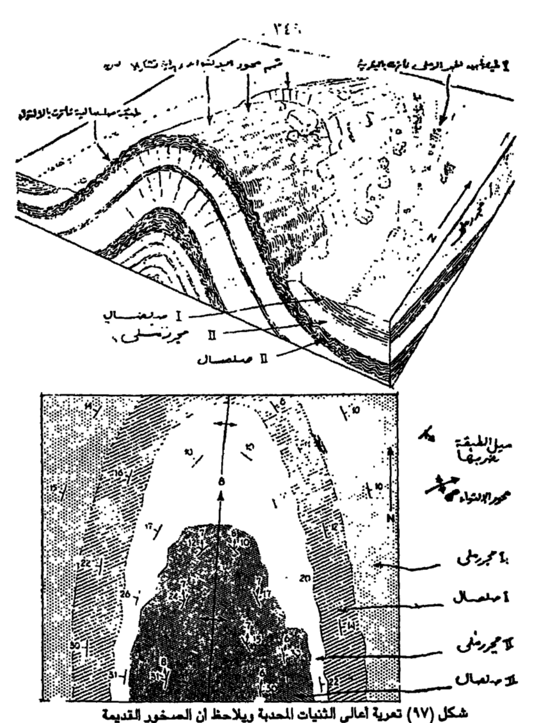
أما الطبقات الصخرية الرسوبية الحديثة العمر الجيولوجى والهائلة السمك فهذه تعتبر أنسب أنواع الصخور لاظهار تأثير التمعج وحركات الثنى والطى فى تشكيل صخور قشرة الأرض وبفعل هذه الحركات التكتونية تنثنى الطبقات الصخرية وتتشكل بأنماط مختلفة تبعا لخصائص الحركات التكتونية نفسها ، ومدى اختلاف التركيب الصخرى .

وإذا كانت الحركات التكتونية عبارة عن حركات رفع بسيطة أو شديدة ولكن فى جانب واحد فى الصخور قد ينجم عن ذلك ميل جزء من الطبقات الى أعلى ، ويتألف سطح الأرض فى هذه الحالة من طبقات صخرية ذات ميل شديد فى جانب واحد Monocline. أما إذا كانت الحركات التكتونية عبارة عن حركات رفع تدريجية تؤثر فى القسم الأوسط من الطبقات الصخرية ، فتنثنى الطبقات الشخرية فى هذه الحالة على شكل ثنيات محدبة Anticlines وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة ثنيات مقعرة Synclines .

وإذا كانت حركات الرفع التكتونية قد استمر حدوثها ببطء وبصورة تدريجية وبمعدل بسيط فينتج عن ذلك تكوين ثنيات محدبة هائلة الاتساع وتشغل مساحات واسعة جدا . ويتميز الميل على جوانب هذه الثنيات بكونه بسيطا وغير محسوس . وأمثلة ذلك الثنيات الصخرية المحدبة فى إقليم سينسيناتى وثنيات سان رفائيل San Rafael المحدبة فى ولاية يوتاه ، وثنيات زونى Zuni المحدبة فى شمال غرب المكسيك ، وثنيات يلج والمغارة المحدبة فى شمال شبه جزيرة سيناء . وتتميز الطبقات الصخرية فى كل هذه الثنيات المحدبة بميل تدريجى بسيط جدا بحيث تبدو للعين المجردة وكأنها طبقات أفقية الميل . ولكن أهم ما يدل على أنها ثنيات صخرية محدبة أن أواسطها تتركب من طبقات صخرية قديمة العمر نسبيا تبعا لتعرية الطبقات الصخرية العلوية الأحدث عمرا ، وكلما ابتعدنا عن قلب الثنية المحدبة واتجهنا صوب أطرافها نشاهد الطبقات الصخرية الأحدث عمرا (شكل ٩٧) .

أما إذا كانت الحركات التكتونية شديدة بحيث يمكنها رفع الطبقات الصخرية الى أعلى بمقدار كبير ، فقد ينجم عن ذلك تكوين ثنيات صخرية محدبة هائلة الارتفاع فوق سطح الأرض ، ومع ذلك تكون محدودة المساحة والامتداد تبعا لشدة ميل الطبقات على جوانب الثنيات المحدبة وقصر هذه الجوانب ، كما هو الحال بالنسبة لثنيات مرتفعات الباروك المحدبة فى لبنان وجبل حفيت فى دولة الإمارات العربية المتحدة .

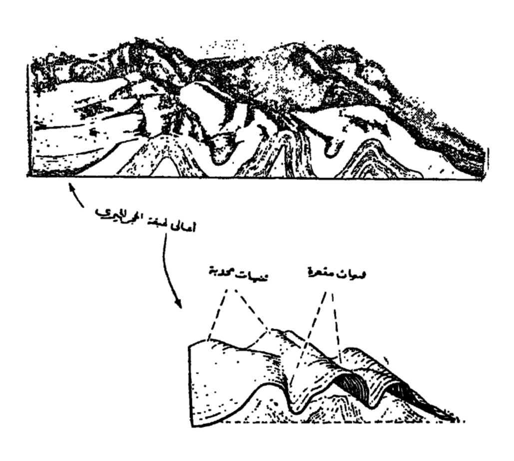
ومن النادر أن تظهر الثنيات المحدبة على سطح الأرض كما هى كاملة المظهر دون أن يشوبها أى تغيير ، ذلك لأنه عند رفع الطبقات الصخرية من أسفل الى أعلى وتكوين الثنيات المحدبة بأشكالها المختلفة تتكون فى الطبقات الصخرية مناطق ضعف جيولوجية جديدة Geological Weakness . وتتمثل هذه المناطق فى أعالى الثنيات المحدبة وعند قممها Crests . وعندما تعرض أعالى الثنيات المحدبة لفعل التعرية تتآكل صخورها اللينة وتنجح التعرية المائية فى شق الطبقات الصخرية وإزالة الكثير من تكويناتها ، ومن ثم قد تظهر منطقة أعالى الثنيات المحدبة فوق سطح



شكل (٩٧) تعرية أعالى الثنيات المحدبة ويلاحظ ان الصخور القديمة تظهر فى أواسط الثنية المحدبة بعد تعرية الصخور الاحدث عمرا والتى تشاهد بقياها على جانب الثنية ـ ولاحظ توزيع طبقات الصخور والمنثنية على الخريطة الجيولوجية واتجاه ميل الطبقات .

الأرض إما على شكل سهول فيضية نهرية أو أودية لأنهار عميقة نشيطة (شكل ٩٨) .

وعند رسم قطاع جيولوجى لمرتفعات الأبلاش فى الولايات المتحدة الأمريكية يتضح أن مناطق الثنيات المحدبة كادت تختفى من فوق سطح الأرض وأصبحت عبارة عن احواض نهرية نتيجة لتعرضها لفعل التعرية خلال فترات زمنية جيولوجية طويلة .



شكل (٩٨) الثنية الصخرية المحدبة نظريا وكأنها لم تتعرض لفعل التعرية والمظهر الحقيقى للثنية المحدبة بعد تعرضها لفعل عوامل التعرية .

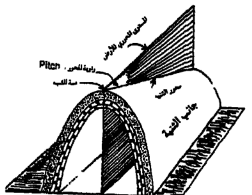
وعند رسم الشكل الأصلى لطبقات صخور مرتفعات الابلاش - وكأنها لم تتعرض اطلاقاً لفعل عوامل التعرية المختلفة - لاتضح أن أعالى مرتفعات الأبلاش كانت تتمثل (نظريا) على منسوب يزيد عن منسوبها الحالى بنحو ١٥٠٠ متر . ولكن من الخطأ اعتبار أن المرتفعات الجبلية عند نشأتها كانت أعلى ارتفاعا بكثير جداً عما تبدو به اليوم ، ذلك لأن الدراسات الجيولوجية أكدت بأنه فى الوقت الذى ترتفع فيه أجزاء سطح الأرض ، ارتفاعا تدريجيا بسيطا ، تعمل عوامل التعرية على نحت وإزالة أجزاء من تلك الطبقات المرفوعة . أو بمعنى آخر أن فعل عوامل التعرية لا يبدأ عندما تنتهى حركة الرفع التكتونية فقط ، بل كذلك يتم فعل عوامل التعرية فى نفس اللحظة التى تظهر فيه الطبقات الصخرية عند سطح الأرض إبان تعرضها لعمليات الرفع التكتونية . وهكذا تعمل الحركات الأخيرة على ارتفاع منسوب أجزاء من سطح الأرض فى حين تعمل عوامل التعرية فى نفس الوقت على تخفيض منسوب هذه الأجزاء المرفوعة .

عناصر الإلتواء - الثنية المحدبة :

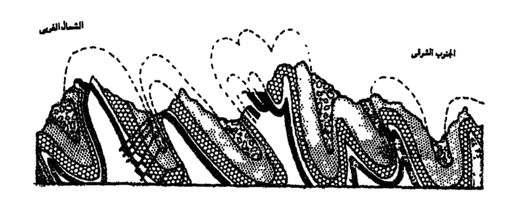
على الرغم من تعدد أشكال الثنيات المحدبة إلا أن كلا منها يتألف من عدة عناصر أو أجزاء ثابتة . فعندما تنثنى الطبقات الصخرية على شكل ثنية محدبة ، يصبح لها جانبين تميل فيها الصخور فى اتجاهين متضادين ، ويطلق على كل جانب منها اسم جانب الثنية أو جناح الطية Limb . وتعرف أعلى نقطة فى الثنية المحدبة والتى تعتبر منطقة فاصلة بين جانبى الثنية باسم قمة الثنية Crest (شكل ٩٩) أما الخط الذى ينصف الثنية فيعرف باسم **محور الالتواء** Axial plane or Anticlinal axis وليس من الضرورى أن يكون المحور عموديا بل كثيرا ما يكون مائلا أو شبه أفقى [1] .

وتتنوع أشكال الثنيات المحدبة وفقا لدرجة ميل المحور . فإذا كان المحور عموديا (٩٠ْ) يؤدى ذلك الى تكوين ثنيات محدبة رأسية أما إذا كانت زاوية المحور أقل أو أكثر من الزاوية القائمة فى حدود عشرين درجة (أى

٧٠ْ أو ١١٠ْ) فيؤدى ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة المائلة البسيطة . أما إذا كان الفرق فى ميل المحور عن الزاوية القائمة كبيرا (أى ٣٠ْ أو ١٥٠ْ) فيؤدى ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة المقلوبة . وإذا كان محور الثنية المحدبة شبه أفقى (أى يكون مع خط سطح الأرض الأفقى زاوية حادة جدا أو منفرجة جدا) فيؤدى ذلك إلى تكوين الثنيات المحدبة النائمة أو المضطجعة (شكل ١٠٠) .



شكل (٩٩) عناصر الالتواء (الثنية المحدبة)



شكل (١٠٠) نماذج مختلفة لثنيات محدبة فى مرتفعات الألب تبعا لتنوع ميل المحور .

(1) HOLMES A. (PHYSICAL GEOLOGY). NELSON (1959)71-75.

ومن النادر أن تكون جميع أجزاء الثنية المحدبة متساوية في الشكل والمنسوب فوق سطح الأرض ، بل كثيرا ما تكون الثنية المحدبة أعلى ارتفاعا ومنسوبا في جانب عنها في جانب أخر . ومن ثم يميل سطح المحور المنصف للثنية المحدبة ميلا بسيطا أو شديدا من قمة الثنية الى قاع مستوى الثنية . ويطلق على الزاوية المحصورة بين هذا المستوى المائل (مستوى خط قمة الثنية) والمستوى الأفقى للمحور من عند نقطة قمة الثنية المحدبة اسم زاوية مستوى المحور [1] Pitch .

ويحدد طول الثنية المحدبة بطول المسافة التى تمتد فيها الثنية المحدبة على مضرب الطبقات . أما عرض الثنية المحدبة فهو عبارة عن المسافة التى تشغلها الطبقات المنثنية فى اتجاه ميل الطبقات .

وبالنسبة للثنية المقعرة Syncline . فهى تشبه الثنية المحدبة إلا أنها مقلوبة الشكل (شكل ١٠١) . ويطلق تعبير قاع الثنية المقعرة على



شكل (١٠١) ثنية مقعرة فى مرتفعات البرتا ـ كندا

النقطة التى تمثل اقل منسوب لأسطح طبقات الثنية المقعرة ، وأما الخط الذى ينصف المقعرة الى قسمين أو جانبين متساويين فيعرف باسم **محور الثنية المقعرة** Axis of the syncline وليس من الضرورى كذلك أن يكون هذا المحور عموديا .

(1) Longwell, G., R. Knopf, and Flint R. F , Outline of physical Geology , P.251

أشكال الثنيات أو الطيات

Kinds of folds

يتضح مما سبق أن الثنيات أو الطيات الصخرية Folds قد تكون **ثنيات محدبة** Anticlines ، وفيها تنثنى الطبقات الصخرية الى أعلى وتميل الصخور خارج محور الثنية المحدبة ، ومن ثم يكون اتجاه ميل الطبقات على جانبى الثنية المحدبة فى اتجاهين متضادين . كما قد تكون **ثنيات مقعرة** Synclines وفيها تنثنى الطبقات الصخرية الى أسفل وتميل الصخور الى الداخل نحو محور الثنية المقعرة ومن ثم يكون اتجاه ميل الطبقات على جانبى الثنية المقعرة فى اتجاهين متقابلين . ويمكن تصنيف الثنيات المحدبة والمقعرة الى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ - **الثنيات المحدبة والمقعرة المتماثلة Symmetrical** وفيها تكون زوايا ميل الطبقات الصخرية على جانبى محور الثنية المحدبة أو المقعرة متشابهة الى حد كبير ، كما أنه يجب أن تكون جوانب الثنيات متساوية فى الطول ومتشابهة فى الشكل العام . وفى هذه الحالة ينصف المحور الثنية المحدبة أو المقعرة الى قسمين متساويين ومتشابهين (شكل ١٠٢) .

ب - **الثنيات المحدبة والمقعر غير المتماثلة Assymmetrical** وفيها يختلف مقدار زاوية ميل الطبقات الصخرية على جانبى محور الثنيات المحدبة والمقعرة . وفى هذه الحالة لا تتساوى جوانب الثنية المحدبة أو المقعرة فى الطول أو فى الشكل ، كما لا ينصف محور الثنيات المحدبة أو المقعرة أى منها الى قسمين متساويين .



شكل (١٠٢) ثنية محدبة وأخرى مقعرة متماثلتان

وحيث إن الثنيات المحدبة Anticline هى أهم مظهر من مظاهر الثنياء التكتونية ويعد تمثيلها فوق سطح الأرض اكثر شيوعا من غيرها مـ الثنيات الأخرى ، لذا ينبغى أن نشير الى أشكالها وخصائصها العام بشيء من التفصيل. وعلى أساس اختلاف درجة ميل محور الثنية المحدب وخصائصها العامة يقسم الباحثون الثنيات المحدبة الى المجموعات الآتية :

١ - ثنية وحيدة الجانب . Monocline

تتكون محليا فى بعض أجزاء من المناطق الالتوائية . وتتميز الثنية لمحدبة هنا بأن لها جانب واحد فقط One limb أما الجانب الآخر فيصبح غير واضح وتكاد فيه الطبقات أفقيه الميل (شكل ١٠٣) .

ا- وحيدة الجانب

ب - متماثلة

جـ - غير متماثلة

د - مقلوبة

هـ - نائمة أو مضطجعة

و- نائمة صدعية

ر- ثنيات متوازية

ز- ثنيات ملتوية

س - ثنية محدبة كبرى

ص - ثنية مقعرة كبرى

(شكل ١٠٣) بعض اشكال الثنيات الإلتوائية .

٢ ـ ثنية مقلوبة : Overturned

وتتمثل فى المناطق التى تعرضت لحركات التوائية شديدة نسبيا . ويتميز محور الثنية فى هذه الحالة بميله بنحو ٦٠ْ أقل أو أكثر عن الخط العمودى .كما يلاحظ بأن اغلب الثنيات المقلوبة نادرا ما تكون متماثلة ، وكثيرا ما يكون ميل الطبقات على جانب من الثنية أشد بكثير منه على الجانب الآخر . (شكل١٠٣) .

٣ ـ ثنية نائمة أو مضطجعة : Recumbent Fold

وأهم ما يميزها زيادة درجة ميل المحور عن الخط العمودى ومن ثم يكاد يكون أفقيا ، وتزيد أو تقل درجة ميل المحور بنحو ٧٠ْ إلى ٨٠ْ عن الزاوية القائمة . وهكذا يتضح أن الثنية المحدبة تنثنى وتستلقى أو « تستند وتنام » على غيرها من الطبقات الصخرية الأخرى ، ومن هنا جاءت تسميتها بالثنيات النائمة أو المضطجعة أو المستلقية . ولا تحدث مثل هذه الثنيات إلا فى المناطق التى تعرضت لحركات رفع تكتونية شديدة ، والتى تؤدى الى بناء الجبال الكبرى كما هو الحال فى مرتفعات الهيملايا والروكى والألب . ويطلق على الثنيات النائمة فى مرتفعات الألب الفرنسية اسم « النابية » Nappe وهى من أهم الخصائص الجيولوجية فى تركيب الطبقات لمرتفعات الألب . (شكل ١٠٤) .



شكل (١٠٤) ثنية نائمة أو مضطجعة فى الصخور الجيرية العليا بمرتفعات الألب الى الجنوب من بحيرة لوسرن – سويسرة .

٤ - ثنية نائمة صدعية : Over-thrust fold

وهى تشبه الثنية النائمة السابقة غير أنه نتيجة لشدة ميل م
الثنية عن الخط العمودى تتعرض الطبقات الصخرية لحركات من صد
مندفعة Over-thrust faults وتتزحزح الطبقات بشدة على طول أسـ
الصدوع ، ومن ثم تتكون ثنيات نائمة صدعية . وتتمثل هذه المجموعات
من الثنيات فى المناطق الضعيفة جيولوجيا والتى تتعرض لحركات رفع
تكتونية عنيفة كما هو الحال فى مناطق المرتفعات الكبرى بجبال الألب
والهيملايا والروكى .

٥ - الثنيات الملتوية والمتوازية :

فى الطبقات الصخرية التى تعرضت لحركات الرفع التكتونية قد
تتكون مجموعات متجاورة من الثنيات المحدبة تنفصل عن بعضها البعض
بواسطة الثنيات المقعرة وقد تكون هذه الثنيات المحدبة راسية الشكل أى
أن محاورها تكون عمودية تماما ، وتتشابه جوانب الثنيات من حيث
الشكل ومقدار زاوية ميل الطبقات ، وتشبه الثنية المحدبة هنا الشكل
الهرمى ، وتعرف مثل هذه المجموعة من الثنيات باسم الثنيات الملتوية
Zigzag fold (شكل ١٠٥)

وقد تظهر أيضا محاور الثنيات المحدبة المجاورة موازية لبعضها
البعض الآخر ، إلا أن الثنيات المحدبة قد تكون مائلة ، ومثل هذه المجموعة
تعرف باسم الثنيات المتوازية Parallel Fold

٦ - الثنيات المحدبة والمقعرة الكبرى :

عندما تقع ثنيات محدبة وأخرى مقعرة ثانوية ومتوسطة الحجم داخل
نطاق ثنية محدبة كبرى فتعرف الأخيرة باسم Anticlinorium أما إذا
تمثلت ثنيات محدبة وأخرى مقعرة متوسطة الحجم داخل نطاق ثنية
مقعرة كبرى فتعرف الأخيرة باسم Synclinorium ، ولا تتمثل هذه الحالة
إلا فى المرتفعات الكبرى التى تعرضت لحركات رفع عنيفة خلال عدة
مراحل متعاقبة وفى العقد الجيولوجية .



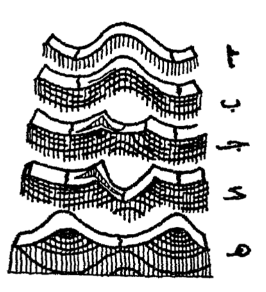
شكل (١٠٥) ثنيات ملتوية Zigzag نائمة فوق بعضها فى جرف بحرى بجوار ساحل مدينة سانت جان دى لوز - فرنسا .

الثنيات وعوامل التعرية : Folds and Erosion

إذا ظهرت الثنيات الملتوية المحدبة والمقعرة على سطح الأرض نتيجة لحركات الرفع الشديدة سرعان ما تتعرض بدورها لفعل عوامل التعرية المختلفة . وتساعد هذه العوامل الأخيرةعلى تشكيل المظهر التضاريسى لهذه الثنيات وذلك نتيجة لاكتشافها مناطق الضعف الجيولوجى فى الصخور وازالة الطبقات اللينة ، وتفتيت الصخور الصلبة وأزالتها هى الأخرى تدريجيا .

وعلى ذلك تتعرض قمم وأعالى الثنيات المحدبة لفعل عوامل التعرية التى كثيرا ما تكون فيها أنهاراً تالية Subsequent تمتد مع اتجاه مضرب الطبقات وعلى طول مستوى خط قمة الثنية المحدبة . وبتوالى عمليات النحت الرأسى والجانبى تتآكل القمة ليحل محلها منطقة خانقية أو منطقة حوضية نهرية . وفى مرحلة أخرى ونتيجة لاستمرار عمليات النحت وازالة الصخور فى منطقة رأس الثنية المحدبة تتحول الأخيرة الى منطقة منخفضة المنسوب وحوضية ومقعرة السطح ، فى حين تتحول الثنيات الصخرية الأصلية المقعرة الى مناطق هضبية مرتفعة المنسوب نسبيا تبعا لتجمع الرواسب فيها (شكل ١٠٦)

يتضح من هذا العرض أن السطح الحالى لمثل هذه المناطق أصبح يختلف عن السطح الأصلى لمنطقة الثنيات المحدبة قبل أن تتعرض بشدة لفعل عوامل التعرية . وفى هذه المرحلة الأخيرة التى تتكون



شكل (١٠٦) انقلاب مظهر سطح الأرض فى مناطق الثنيات الالتوائية

الأحواض العميقة فى منطقة من الصخور ذات ثنيات محدبة ، وأن تتكون الهضاب المرتفعة فى منطقة من الصخور ذات ثنيات مقعرة يطلق عليها اسم مرحلة إنقلاب السطح Inversion of relief ولا تشاهد مثل هذه الحالة إلا فى المناطق الجبلية القديمة جيولوجيا (التى تأثرت بالحركات التكتونية الكارنية والكاليدونية والهرسينية) ، والتى تعرضت بدورها فترة طويلة من الزمن الجيولوجى لفعل عوامل لتعرية . أما المناطق الالتوائية الحديثة (مثل الحركات الألبية الميوسينية) فمن النادر أن تشاهد فيها ظاهرة انقلاب السطح أو عدم توافق مظهر سطح الأرض بالنسبة للتركيب الجيولوجى ، ذلك لأنه لم يمر الوقت اللازم لكى تنجح عوامل التعرية فى تغيير شكل سطح الأرض وانقلاب ظواهره [١] .

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

حسن أبو العينين : أصول موروفولوجيا ، الطبعة الثانية - دار المعارف - الإسكندرية - ١٩٦٨ - الطبعة الحادية عشر (١٩٩٥) .

ثانيا - الصدوع (الانكسارات)

يقصد بتعبير الصدوع Faults حدوث كسر فى الطبقات الصخرية بحيث تصحبه زحزحة بعض أجزاء الطبقات رأسيا أو أفقيا . وتتأثر هذه الحركات الصدعية التكتونية بفعل قوى الشد والضغط المختلفة التى تتعرض لها صخور قشرة الأرض . وقد استخدم الكتاب مرادفات كثيرة تشير الى نفس مدلول كلمة الصدوع . فقد استخدم الأستاذ محمد متولى [١] . تعبير « الانكسارات » أو « العيوب » بينما يستعمل الجيولوجيون وخاصة حسن صادق [٢] ويحيى انور [٣] ، وفخرى موسى [٤] تعبير « الفوالق » .

ومما يؤخذ على تعبير « الانكسارات » أنه لا يؤكد حدوث زحزحة أو اختلاف فى منسوب أو مستوى الطبقات التى انكسرت . ولكن حيث استخدم هذا التعبير منذ فترة طويلة ، وأصبح استخدامه شائعا فى كثير من الدراسات الجغرافية والجيولوجية ، فليس من الخطأ الاشارة إليه لكى يرمز الى نفس معنى تعبير « الصدوع » . « وصدوع » مفردها « صدع » ، ويقصد بذلك تعرض الطبقة الصخرية لانكسار مصحوب بزحزحة واختلاف فى منسوب أو مستوى الطبقات ويطلق على الحركة نفسها اسم حركة التصدع Faulting كما يمكن استخدام صفة من اسم الصدع كأن نقول مثلا حافة صدعية Fault Scarp ، أى حافة صخرية تكونت أساسا بفعل التصدع . وقد استخدم الكاتب هذه المصطلحات الأخيرة منذ عام ١٩٦٦ [٥] .

أجزاء الصدع وعناصره :

إذا تعرضت طبقة ما من الصخور حركات التصدع ، وتزحزحت

(١) محمد متولى موسى « وجه الأرض » القاهرة ١٩٥٥ - ص ٦٦ .

(٢) حسن صادق « الجيولوجيا » القاهرة ١٩٢٩ - ص ١٥٩ .

(٣) يحيى محمد أنور ومحمد وآخرون « الجيولوجيا الهندسية » - القاهرة ١٩٦٨ ص ١٥٤ .

(٤) فخرى موسى وآخرون « الجيولوجيا الهندسية » - القاهرة ١٩٦٨ ص ١٥٤ .

(٥) حسن أبو العينين « أصول الجيومورفولوجيا » - دار المعارف - الأسكندرية ١٩٦٦ - الطبعة الحادية عشرة ١٩٩٥ .

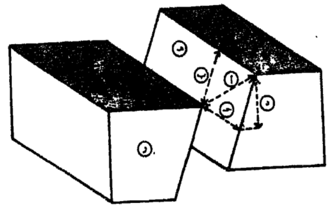
بعض أجزائها رأسيا على طول سطح الصدع لأمكن أن نميز العناصر الآتية :

أ - **سطح الصدع** Fault Surface : وهو عبارة عن السطح الذى تزحزحت عليه الطبقات . ويسميه بعض الكتاب **مستوى الصدع** Fault Plane إلا أن سطح الصدع نادرا ما يكون مستويا لمسافة كبيرة فى الطبيعة . وإذا تأثرت الطبقة الصخرية بعدة أسطح صدوع متجاورة جدا فيتكون فى هذه الحالة **النطاق الصدعى** Fault Zone .

ب - **ميل الصدع** Dip of the Fault وعبارة عن مقدار الزاوية المحصورة بين ميل سطح الصدع ومستواه الأفقى . ويطلق على الزاوية المتممة لزاوية ميل الصدع اسم **زاوية حيود الصدع** Hade of the Fault . أما أى خط عمودى على ميل الصدع فيعرف باسم مضرب الصدع .

جـ - **الجانب المرفوع** : Up-throw side ، ويطلق على الجانب الذى ارتفع الى أعلى على طول سطح الصدع ، أما الجانب الآخر من الطبقة الصخرية والذى هبط إلى أسفل على طول سطح الصدع فيعرف باسم **الجانب الهابط** Down throw side .

ويطلق على كتلة الصخور التى تعلو سطح الصدع مباشرة اسم **الحائط المعلق** Hanging wall ، أما كتلة الصخور التى تتمثل أسفل سطح الصدع مباشرة فتعرف هى الأخرى باسم **الحائط الأسفل** Foot wall . (شكل ١٠٧)



شكل (١٠٧) أجزاء الصدع وعناصره

د - مرمى الصدع : Throw of Fault ويقصد بذلك مقدار الانتقال الراسى لأى طبقة صدعية على جانبى الصدع . وينبغى أن يكون مقياس مرمى الصدع عموديا على اتجاه الطبقات .

هـ - الزحزحة الجانبية : Lateral Shift or Heave . ويقصد بذلك تحديد مقدار الزحزحة الأفقية على طول مضرب الطبقات وينبغى أن يكون قياس الزحزحة الجانبية عموديا على مضرب الصدع .

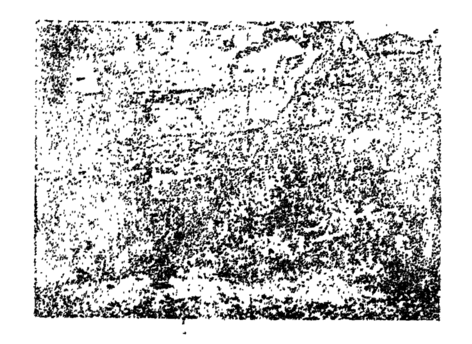
و- الزحزحة الكلية : Slip ، ويشير هذا التعبير الى المسافة الكلية التى تتحركها أى طبقة على سطح الصدع .

أنواع الصدوع

حيث إن اهم ما يميز الحركات الصدعية هو كيفية زحزحة أجزاء الطبقات افقيا أو رأسيا على طول الصدوع ، فقد اعتبر الجيولوجيون اختلاف نوع الحركات المؤدية الى تكوين الصدوع وطبيعة اتجاه الطبقات الصخرية وزحزحتها على طول اسطح الصدوع عاملين رئيسيين عند تصنيف الصدوع الى أشكال مختلفة . ووفقا لذلك يمن أن نميز الصدوع الآتية :

أ - الصدع العادى البسيط : Normal Fault

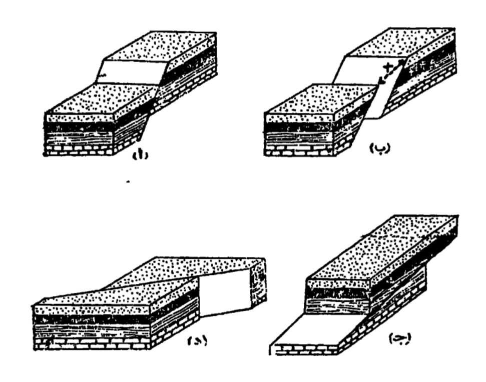
ينتج أساسا عن عمليات شد الطبقات الصخرية Tension اكثر من تكوين الصدع بفعل الضغط Compression ومن ثم قد يعرف باسم صدع الشد Tension Fault . ويتميز الصدع العادى بأن اتجاه ميل الصدع يتفق مع اتجاه الرمية . وتتراوح زاوية سطح الصدع فى هذه الحالة من ٤٥° الى ٩٠° . ونتيجة لرمى الطبقات الى أسفل فإن الحائط المعلق ينخفض منسوبة عن الحائط الأساسى او الأسفل (شكل ١٠٨) .



شكل (١٠٨) صدع عادى بسيط فى الطبقات الفحمية فى لانارك شير بانجلترا .

ب ـ الصدع العكسى : Reverse or Thrust Fault

ينتج هذا النوع من الصدوع نتيجة لعمليات الضغط أكثر من عمليات الشد . ويتميز هذا الصدع بأن زاوية سطح الصدع حادة جداً وتتراوح من المستوى الأفقى حتى زاوية قدرها ٤٥ْ أو أقل . ومن ثم يصاحب هذا النوع من الصدوع مراحل تكوين الثنيات الحدبة النائمة أو المضطجعة . ومن خصائص الصدع العكسى أن ميل سطح الصدع يكون عكس اتجاه الطبقات التى رميت الى أسفل . (شكل ١٠٩) .

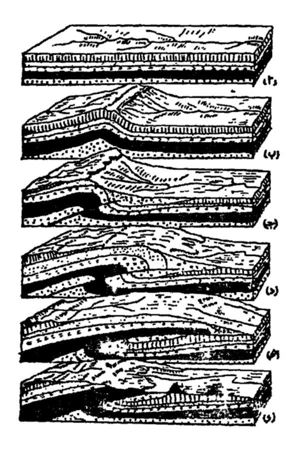


شكل (١٠٩) بعض أنواع الصدوع

أ ـ صدع عادى بسيط ب ـ صدع عادى بسيط مع زحزحة مائلة للطبقات . جـ ـ صدع عكسى . د ـ صدع جانبى أو أفقى .

وقد وصف الاستاذ لونجويل C. R. Lonwell [1] مراحل تكوين الصدوع العكسية فى عدة أشكال تصورية . ففى شكل ١١٠ أ يتضح أن الطبقات الصخرية لم تتأثر بعد حركات تكتونية.ثم فى شكل ١١٠ ب ، يتضح أن عمليات الضغط الجانبى أدت الى تكوين ثنية محدبة فى الصخور . أما فى مرحلة جـ فإن الثنية الناشئة تأثرت بحدوث الصدوع وتكونت الصدوع العكسية .

(1) Longwell , C. R. and others (Outlines of physical geology) N. Y. (1947) P.312.



شكل (١١٠) مراحل تكوين الصدوع العكسية تبعا لدراسات

الأستاذ C. R. Longwell لونجويل

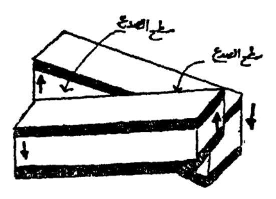
وفى مرحلة د ، يلاحظ أن الطبقات تستمر فى زحزحتها على طول سطح الصدع ، وتتباعد أجزاء الطبقة الواحدة عن بعضها البعض ويتأثر سطح الأرض فى كل مرة بفعل عوامل التعرية المختلفة . أما فى مرحلة هـ فيصل الصدع العكسى الى قمة فترات نموه ثم فى مرحلة متأخرة يزداد تشكيل سطح الأرض بفعل عوامل التعرية التى تنحت المحدبات بحيث لا يتبقى منها فى النهاية سوى جبال انفرادية منعزلة ، وترسب فى المقعرات (شكل ١١٠ و) .

جـ الصدع الأفقى أو الجانبى : Lateral or Tear Fault

يتكون نتيجة لحركات شد الطبقات على طول اتجاه خط الظهور أو مضرب الطبقات . ومن ثم يطلق على هذا النوع من الصدوع اسم Strike Slip Fault or Transcurrent . وتصاحب الصدوع الأفقية الثنيات النائمة المضطجعة والمعروفة باسم النابية Nappes . وفى هذه الحالة لا ترمى الطبقات الى أعلى أو الى أسفل ولكن تتزحزح على طول مضرب الطبقات

د ـ الصدوع الدورانية : Rotational Faults

يحدث هذا النوع من الصدوع عند تأثر بعض الطبقات بالصدوع بحيث تتعرض أجزاء من الطبقة للرمى الى أعلى وتهبط أجزاء أخرى منها إلى أسفل (شكل ١١١) .



شكل (١١١) الصدوع الدورانية حيث إن جزء من الطبقة التى رميت الى أعلى يرتفع الى اعلى وجزء أخر منها يهبط إلى أسفل ، وتحدث نفس العملية فى الطبقة التى رميت إلى أسفل .

ونتيجة لحدوث الصدوع وتزحزح الطبقات قد يؤدى ذلك الى تكرار ظهور أو حدوث الطبقة الواحدة أو اختفاء جزء منها . فإذا كان الصدع قد حدث على طول مضرب الطبقات (شكل ١١٢ ـ أ) فقد يؤدى ذلك الى تكرار حدوث الطبقة الواحدة بالقرب من منطقة سطح الصدع . وفى بعض الأحيان الأخرى قد تختفى أجزاء من الطبقة الواحدة إذا رميت الطبقات إلى أسفل فى حالة الصدوع العكسية (شكل ١١٢ ـ ٢) . وكثيرا ما تتكرر

الطبقات كذلك على طول أسطح الصدوع الدورانية (شكل ١١٢ ـ ٣) ، وفى حالة إذا قطع سطح الصدع الطبقات الصخرية فى اتجاه مائل عل . ميل الطبقات . (شكل ١١٢ ـ ٤) .

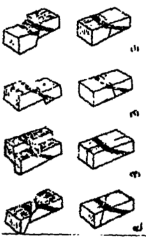
وعلى أساس اختلاف أشكال مجموعات معينة متجاورة من الصدوع وتجاور عدة أسطح صدوع مع بعضهما البعض ، أو أنها تكون جميعا ظاهرة بارزة على سطح الأرض ، يميز الجيولوجيون مجموعات الصدوع المركبة الآتية :

أ ـ الصدوع السلمية : Step Faults

إذا كانت أسطح الصدوع العادية المتجاورة متوازية ورمياتها فى اتجاه واحد ، فيؤدى ذلك الى رمى الطبقات الى أسفل على شكل مصاطب أو مدرجات سلمية ، ويطلق على مثل هذا النوع من الصدوع اسم الصدوع السلمية شكل (١١٣) .

ب ـ الصدوع المكونة للضهور الصدعية : Horsts

وهى عبارة عن صدوع مركبة تحدث فى كتلة ضخمة من الطبقات الصخرية ، وتؤدى إلى رفع القسم الأوسط منها ، وبروزه بمنسوب مرتفع فوق أجزاء سطح الأرض المجاورة . ويطلق على تلك الكتل الصخرية الصدعية البارزة اسم الضهر « هورست Horst) . وتتميز الجوانب الحائطية للضهر الصدعى بشدة انحدارها ، وانصقال جوانبها (شكل ١١٣ ب) .

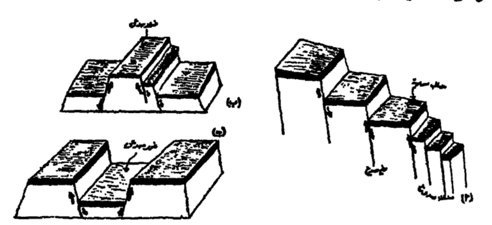


شكل (١١٢) أثر الصدوع فى تكرار الطبقة الواحدة أو اختفاء جزء منها . خاصة بعد تعرضها لفعل عوامل التعرية ويلاحظ تكرار الطبقات فى الحالات رقم ١ ، ٣ ، ٤ أما فى حالة ٢ ، فتختفى الطبقات بعد ازالتها بفعل عوامل التعرية .

جـ - الصدوع المكونة للأغوار الصدعية : Graben or Trough Faults

وهى أيضا من مجموعة الصدوع المركبة التى تنشأ فى طبقات صخرية عالية السمك ، ونتيجة لحركات شد وضغط عنيفين . وهى تشبه الصدوع المكونة للضهور الصدعية لكن بدلا من أن يرتفع القسم الأوسط الى أعلى نجده فى هذه الحالة يهبط إلى أسفل مكونا منطقة حوضية صدعية ، وترتفع الطبقات الصخرية الأخرى إلى أعلى على جانبى الحوض الصدعى . (شكل ١١٣ جـ) .

ومن بين أظهر أمثلة الصدوع المركبة المكونة للضهور والأغوار الصدعية تلك التى تؤثر فى تشكيل المظهر التضاريسى للكتل القارية الصلبة القديمة ، وخاصة فى أفريقيا وجنوب غربى آسيا . فقد نجحت مثل هذه الصدوع المركبة فى تكوين الظاهرة الكبرى المعروفة باسم الأخدود الأفريقى العظيم The Great African Rift Valley وأول من ميز هذا الأخدود الصدعى هو الباحث جريجورى J. W Grogory[(1)] . ويمتد هذا الأخدود الصدعى على شكل حوائط ومرتفعات صدعية تحصر بينها أحواض صد عية هابطة لمسافة تزيد عن ٣٠٠٠ ميل . وهو يبدأ جنوبا من



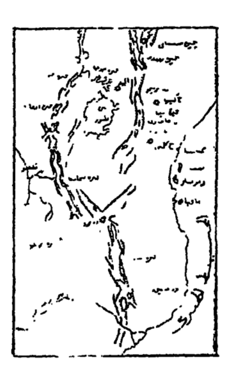
شكل (١١٣) بعض أنواع مجموعات الصدوع المركبة أ ـ السلمية ب ـ صدوع الضهور الصدعية جـ ـ صدوع الأغوار الصدعية .

---

(1) Gregory, J. W., (The Rift Valley and the Geology of Eastern African, (1921) London.

بحيرة نياسا ، وعند القسم الشمالى من البحيرة بالقرب من جبل رونجوى يتفرع الأخدود الصدعى الى فرعين هما :

أ ـ الفرع الغربى وتقع فى حوضه الصدعى الهابط مجموعة من البحيرات تشمل من الجنوب الى الشمال بحيرات تنجانيقا وكيفو وادوارد والبرت . (شكل ١١٤) .



شكل (١١٤) جزء من الأخدود الصدعى الافريقى العظيم فى هضبة البحيرات الأفريقية

ب ـ الفرع الشرقى ويقع فى أحواضه وأغواره الصدعية عديد من الظواهر والبحيرات تشمل من الجنوب الى الشمال بحيرات أياسى Eyasi وناترون وماجاوى ونيفاشا وبارينجو على الجانب الشرقى لهضبة البحيرات . ثم تشغل أغوار هذا الأخدود العظيم بحيرات رودلف وستيفانى وبعض البحيرات الصغيرة جنوب أديس أبابا بالحبشة ، وبعدها يقع كل

البحر الأحمر فى الحوض الصدعى العظيم لهذا الأخدود . كما تمتد أبعاد الأخدود شمالا لتضم غور نهر الأردن والحوض الصدعى لسهل البقاع (شكل ١١٥) .



(شكل ١١٥) جزء من الأخدود الصدعى الأفريقى فى قسمه الشمالى .

ومن ثم يمكن القول أن أظهر أمثلة الأغوار الصدعية الكبرى فى العالم أغوار الأخدود الأفريقى العظيم فى شرق افريقيا وحوض نهر الأردن وامتداده فى سهل البقاع . هذا الى جانب أغوار حوض وادى ديث Death Valley فى أمريكا الشمالية وغور الرين الصدعى The Rhine graben ومن بين نماذج أمثلة الضهور الهضبية الصدعية تلك التى تتمثل فى ضهور مرتفعات الفوج الى الغرب من غور الرين الصدعى ، والغابة السوداء الى الشرق منه ، وكذلك هضبة فلسطين وهضبة الأردن الصدعيتين .

وتحسن الاشارة الى ملحوظة مهمة ، وهى أن كلا من الأغوار والضهور الصدعية أن كانت قديمة العمر الجيولوجى وتعرضت لفترة

---

(١) للدراسة التفصيلية عن الظواهر الجيومورفولوجية التى تتعلق بالصدوع راجع : حسن أبو العينين (أصول الجيومورفولوجيا) الأسكندرية ـ ١٩٦٦ ص ـ ١٥٧ ـ ١٨٥ . الطبعة الحادية عشرة ـ الأسكندرية (١٩٩٥) .

طويلة لفعل عوامل التعرية ، فقد يؤدى ذلك الى تغيير اشكال السطح بل وانقلاب مظهره العام . وهكذا تصبح الأغوار الصدعية عبارة عن مناطق هضبية مرتفعة فى حين تتآكل الطبقات الصخرية المكونة للضهور الصدعية وتصبح الأخيرة فى النهاية على شكل مناطق حوضية منخفضة ، ويطلق على هذه الظاهرة كذلك تعبير انقلاب السطح [1] Inversion of relief . ومن بين اجمل امثلة تغيير مظهر سطح الأرض وانقلابه تبعا لتعرية كل من الضهور والأغوار الصدعية الكبرى ما يتمثل فى المرتفعات الصدعية بأواسط ولاية تكساس وفى الحوض العظيم بالولايات المتحدة الأمريكية .

كيفية تمييز الصدوع فى الحقل :

تقسم الصدوع عادة الى مجموعتين الأولى وتعرف باسم الصدوع السطحية الظاهرة Surface Faults ، والثانية تعرف باسم الصدوع تحت السطحية المستترة Subsurfacs Faults وينتمى اغلب الصدوع الى تلك المجموعات الأخيرة والتى لا يمكن مشاهدتها أو التعرف عليها إلا بعد إجراء الأبحاث الجيولوجية التفصيلية للمنطقة المقصودة بالدراسة . أما الصدوع السطحية التى تتمثل فوق سطح الأرض فيمكن تمييزها عندما يتعرف الباحث على بعض الشواهد والظوهر والأدلة الهامة التى تتعلق بحدوث الصدوع ، وتتلخص هذه الأدلة فيما يلى :

١ ـ مشاهد أسطح الصدوع على طول الحافات الصخرية الصدعية .

٢ ـ تكوين الخدوش والحذوذ على جانبى الطبقات التى رميت الى أعلى وتلك التى رميت الى أسفل بفعل احتكاك صخورها وانصقالها Slick ensides على طول أسطح الصدوع .

٣ ـ تكوين مناطق من الصخور المسحوقة أو المصقولة وصفائح من البريشيا المفتتة Faulted breccia تبعا لعمليات احتكاك وزحزحة الصخور على طول أسطح الصدوع . وقد تشاهد بعض المواد المسحوقة فى منطقة سطح الصدوع وتعرف هذه المواد باسم الدقيق الصخرى Rock Flour أو صخر الميلونيت Mylonite .

٤ ـ كثيرا ما تتجمع رواسب بعض المعادن فى الجيوب المحصورة بين الكتل الصدعية وعلى طول نطاق أسطح الصدوع ومشاهدة مثل هذه الجيوب الطولية المعدنية إن دل على شىء فإنما كثيرا مايدل على تعرض المنطقة لفعل الصدوع .

٥ ـ تميل الطبقات الصخرية الى « التخانة » أو السماكة عندما تتقاطع بواسطة أسطح الصدوع وتكون أكبر سمكا من سمكها الحقيقى ، وذلك نتيجة لتأثير عمليات سحب الطبقات نحو منطقة التصدع .

٦ ـ قد تلاحظ على طول أسطح الصدوع مناطق صخرية مفتتة ومقطعة تقطيعا شديدا بفعل الشقوق الناتجة عن شدة الاحتكاك والضغط وسحب الطبقات وشدها

٧ ـ الاختلاف فى الترتيب الطبقى العام للمنطقة ، وقد يكون هذا الاختلاف رأسيا أو افقيا أو مائلا لاتجاه أسطح الصدوع

الصدوع والظواهر التضاريسية لسطح الأرض

عندما تظهر الصدوع على سطح الأرض وتكون حركتها شديدة . فقد يؤدى ذلك الى تشكيل سطح الأرض بظواهر جيومورفولوجية متعددة وينجم عن الزحزحة الرأسية أو الأفقية للصدوع البسيطة العادية والعكسية والجانبية والدورانية تفتيت الهضيبات وتقسيم الفرشات الإرسابية والمصهورات البركانية وهكذا قد نلاحظ فى الحقل مجموعتين من الرواسب ينتميان لفترة زمنية واحدة ومع ذلك توجد كل منهما على مناسيب مختلفة بفعل الصدوع التى زحزحتها رأسيا . وقد ينجم عن حدوث الصدوع السلمية تكوين مصاطب صخرية صدعية ، فى حين تؤدى بعض الصدوع المركبة الى تكوين ظواهر الهضاب أو الضهور الصدعية البارزة Horsts ، والأغوار الحوضية الصدعية الهابطة Grabens والأخاديد الصدعية .

إلا أن أهم ظاهرة تضاريسية تنشأ بفعل حركات التصدع تتمثل بوجه

خاص فى ظاهرة الحافات الصدعية . ويعتبر الأستاذ وليم موريس دافيز W. M. Davis أول من حاول تحديد معنى المصطلحات العلمية التى تتصل بالتصدع وفعل الصدوع وقد ميز دافيز بين نوعين من الحافات الصدعية هما :

أ ـ **الحافات الصدعية : Fault Scarps** ويقصد بذلك الحافات الصخرية التى تنتج مباشرة بفعل عمليات التصدع ويتفق اتجاه الحافة فيها مع أسطح الصدوع نفسها .

ب ـ **حافات أسطح الصدوع : Fault-Line Scarps** ويقصد بذلك الحافات الصخرية التى تتكون بفعل عوامل التعرية التى اشتد فعلها وتأثيرها على مناطق أسطح الصدوع ، وباستمرار فعل عوامل التعرية تتراجع الحافة وتتباعد تدريجيا عن أسطح الصدوع .

وإذا كانت معرفة حافات أسطح الصدوع وتمييزها فى الحقل يتطلب الكثير من الخبرة الحقلية للباحث والدراسات التفصيلية الجيولوجية للمنطقة ، فإن الحافات الصدعية يصاحبها ويرتبط بها كثير من الظواهر التضاريسية التى يمكن أن نوجزها فى الآتى :

١ ـ عدم التناسق او التوافق بين كل من التكوين الصخرى وظواهر سطح الأرض قد يكون مرجعه أحيانا فعل التصدع فعندما تتركب الحافات الصخرية الصدعية التى رفعت الى أعلى من صخور لينة أو صخور متشابهة ومتجانسة فى تركيبها الجيولوجى ، فإن دل هذا على شيء فإنما يدل على أن هذه الحافات فى الصخور اللينة لا ترجع نشأتها الى اثر فعل التعرية فى الأنواع المختلفة من الصخور بل ترجع الى حدوث فعل التصدع .

٢ ـ تشكيل الإقليم بالظواهر الأخدودية Rift- featurs التى تتمثل فى الحافات الصخرية المستقيمة الامتداد وشبه المتوازية والتى قد تنفصل فيما بينها بواسطة الأغوار الضحلة ، والتلال السيفية المشرشرة الشكل . وأجمل هذه الظواهر تتمثل فى إقليم سان اندريا الصدعى

فى ولاية كاليفورنيا San Andreas Rift of California . فكل هذه الظواهر تدل على تكوين الحافات الصخرية بفعل حدوث التصدع .

٣ - تشكيل التصريف النهرى فى أعالى الأودية النهرية بتكوين البحيرات الصغيرة خاصة تحت أقدام الحافات الصخرية وتتكون هذه البحيرات عندما تتلاقى بمجارى نهرية عرضية Transverse Streams ويدل وجودها على حداثة تأثير الحافات الصخرية بفعل التصدع .

٤ - تكوين اهرامات من الرواسب الدقيقة الحجم Screes ورواسب طمية مروحية Alluvial Fans تحت أقدام الحافات الصخرية ، يدل أحيانا على تكوين الحافات الصخرية بفعل التصدع فتتجمع هذه المفتتات تبعا لأثر انزلاق وزحف الصخور السفلية للصدع من جهة وتعرية الحافات الصخرية فى الأجزاء العليا الضعيفة جيولوجيا لأسطح الصدع من جهة أخرى . وتنتشر مثل هذه الظواهر فى الأقاليم الجافة وشبه الجافة حيث تساعد قلة سقوط الأمطار وعدم جريان الأنهار بجوار الحافات الصخرية على تجميع الرواسب والفرشات الصخرية الحصوية تحت أقدام الحافات .

٥ - حدوث الزلازل فى منطقة الحافات الصخرية المرتفعة قد يدل على حداثة تكوين المنطقة جيولوجيا (تكتونيا) وأن بعض هذه الحافات هى صدعية النشأة .

٦ - تقسيم بقايا السهول التحاتية ذات العمر الواحد وزحزحتها ، فمثلا إذا لوحظ أن بقايا سهل تحاتى ما يرجع تكوينه الى الزمن الثالث ويشغل المناطق المرتفعة فى الإقليم ، وقد وجدت بعض من بقاياه على كل من أعالى الحافات الصخرية من جهة وأسفل هذه الحافات فوق الطبقات السفلية للصدع من جهة أخرى ، فإن دل هذا على شىء فإنما يدل على أن هذه الحافات تكونت بفعل عمليات التصدع ، وأن هذه العمليات الأخيرة حدثت بعد تكوين السهل التحاتى أى فيما بعد الزمن الثالث .

٧ - اختلاف مواقع الرواسب والفرشات البلايوستوسينية الحديثة بالنسبة

لموقعها العام ، وهذه تشبه الملاحظة السابقة الذكر ، ولكن فى هذه الحالة إذا حدث وتصادف وجود رواسب بلايوستوسينية أو حديثة فى مواقعها المألوفة ، فهذا يدل على أن حركات التصدع حديثة العمر جدا أى تكونت بعد عصر البلايوستوسين أو خلاله .

٨ ـ تكوين ظاهرة « الفرشات اللافية المزحزحة » Louderbacks وقد اقترح هذا التعبير الأستاذ وليم موريس دافيز فى عام ١٩٣٠ ليدل على الغطاءات اللافية التى انقسمت ثم تزحزحت أفقيا أو رأسيا بفعل التصدع . ومن ثم عند ملاحظة تكوين غطاءات لافيه فى أعالى الحافات الصخرية ، ثم وجود بقاياها تحت أقدام هذه الحافات كذلك ، فهذا يدل على أن الحافات الصخرية تكونت تبعا لحدوث فعل التصدع الذى أدى بدوره الى تقسيم الغطاءات اللافيه وانفصالها .

وتحسن الإشارة فى ختام هذا الموضوع إلى أن الصخور قد تنكسر دون أن يحدث فيها نتيجة لذلك أية زحزحة فى أجزاء الطبقات الصخرية . وفى هذه الحالة يطلق على « الشروخ » الصخرية اسم الفواصل Joints ، وإذا كانت أصغر حجما وذات فتحات ضيقة فتعرف باسم الشقوق Cracks . ويختلف اتجاهات الفواصل والشقوق فى الصخر فبعضها قد تكون رأسية Vertical والأخرى عرضية Horizontal أى تتفق اتجاهاتها مع أسطح الطبقات وأخرى مائلة Inclined . وقد يتأثر الصخر باحدى مجموعات هذه الفواصل أو الشقوق أو جميعها معا . ومن ثم قد يتأثر الصخر باتجاهين من الفواصل أو الشقوق يتقابلان فى زاوية قائمة أو غير قائمة ، وينتج عن ذلك تقسيم كتل الصخر المندمجة الى كتل مكعبة صغيرة .

وتعتبر فتحات أسطح الصدوع والشقوق والفواصل من أهم مراكز الضعف الجيولوجى فى الصخر Geological Weakness حيث تساعد هذه الفتحات على تغلغل المياه الى داخل الصخر وحدوث التجوية الكيميائية ، كما تعمل عوامل التعرية المختلفة والتجوية الميكانيكية على استمرار توسيع فتحات الشقوق والفواصل واضعاف الصخر وتفتيت أجزائه . وتعمل المجارى النهرية على اكتشاف مثل هذه المناطق الضعيفة جيولوجياً وتعمق فيها مجاريها ، ويشتد فيها عمليات النحت الرأسى والجانبى .

الفصل الثامن

القوى الخارجية وأثرها فى تشكيل سطح الأرض

تؤثر العوامل الداخلية فى أشكال التركيب الجيولوجى لقشرة الأرض وتنوعه من إقليم الى أخر وفى نظام ميل الطبقات الصخرية الرسوبية وبعض الصخور المتحولة (من أصل رسوبى) . كما قد تؤدى الى انبثاق كتل اللافا والمصهورات البركانية فوق السطح وعندما تظهر تلك الصخور بأشكالها المختلفة على سطح القشرة الأرضية تتشكل بدورها بفعل القوى الخارجية والتى تتمثل فى عوامل التجوية والتعرية ومن ثم يمكن القول بأن القوى الداخلية تنبعث أساسا نتيجة للثورانات والاضطرابات التى تنتاب باطن الأرض وتؤثر فى الغلاف الصخرى فى حين تتمركز القوى الخارجية فى نطاقى الغلافين الجوى والمائى وتؤثر عناصر هذه القوى الخارجية فى الأشكال التضاريسية لسطح الأرض ويقسم الباحثون العوامل الخارجية الى مجموعتين رئيسيتين هما:

أ ـ **عوامل التجوية** : Weathering ويقصد بها تلك العوامل التى تؤثر فى تفكيك الصخر وتفتيته فى موقعه In Situ وقد يتم ذلك ميكانيكياً أو كيميائياً أو بيولوجياً

ب ـ **عوامل التعرية** : Erosional Processes ويقصد بها تلك العوامل التى تعمل على نحت الصخر واظهار ما يقع تحته ، ولا يقتصر عملها على فعل النحت فقط بل ونقل المفتتات الصخرية من مكان الى أخر وإرسابها فى مناطق قد تبعد مئات الأميال عن المناطق التى انفصلت عنها . ومن أهم هذه العوامل فعل المياه الجارية السطحية والمياه الجوفية والرياح ، وفعل البحر وفعل الجليد .

« أولا » فعل التجوية

يمكن أن نميز فعل التجوية فيما يلى :

١ - **التجوية الميكانيكية** : Mechancial Weathering

ويقصد بها تفكيك الصخر وتقسيمه الى مفتتات صغيرة الحجم دون أن يتغير تركيبه المعدنى ، وتتم التجوية الميكانيكية عملها فى الصخر بواسطة عدة طرق مختلفة اهمها :

أ - **تعرض أسطح الصخور لدرجات الحرارة المتغيرة** : وخاصة فى المناطق التى يزداد فيها المدى الحرارى اليومى والفصلى . ففى تت المناطق تتمدد الجزيئات المعدنية للصخر بفعل تسخين سطحه أثناء النهار خلال أيام الفصل الحار فى حين تنكمش جزيئات معادن الصخر من جديد عندما يبرد سطحه أثناء الليل وخلال أيام الفصل البارد . وعلى الرغم من أن عملية تمدد جزيئات معادن الصخر وانكماشها بفعل التسخين والتبريد Heating and Cooling تحدث ببطء وبنسبة محدودة جدا ، إلا أن استمرار حدوث تلك العملية يؤدى الى اتساع فتحات الشقوق الصخرية (خاصة فى الأجزاء العليا من الصخر) وتساعد هذه العملية بدورها على كثرة وجود مناطق ضعيفة جيولوجيا فى الصخر من ناحية وتفتيت الصخر وتفكيكه من ناحية أخرى . وتعرف عملية تفكيك الصخر وتقشير أجزائه العليا تبعا لتعرضه لدرجات الحرارة المتغيرة باسم « **تقشير الصخر** » Exfoliation . وعندما تتغطى الأسطح الصخرية بالمياه تارة (عند ضب المجارى النهرية وخطوط السواحل البحرية والبحيرية) ثم انحسار المياه عنها تارة أخرى وتكرار حدوث هذا الأمر ، تتعرض الصخور فى هذه الحالة لتتابع عمليات **التبلل** Wetting **والجفاف** Drying ، ويسهم ذلك فى سرعة تجويتها طبيعيا

ب - **تعرض أسطح الصخور للبرودة الشديدة فى المناطق الباردة** : عندما تتعرض الصخور لفعل البرودة الشديدة أو التجمد Freezing أثناء الليل أو خلال الفصل البارد ولفعل الإنصهار Thawing أثناء النهار ، قد يؤدى ذلك الى تجمد المياه داخل فتحات الشقوق الصخرية وتنصهر المياه المتجمدة

اثناء النهار . وتبعا لزيادة حجم المياه بعد تجمدها يتحطم الصخر وتتسع فتحاته وتتفكك جزيئاته . وتعرف هذه العملية باسم تتابع فعل **التجمد والانصهار** فى الصخر ، Freezing and Thawing وتشيع هذه العملية فى العروض الباردة .

٢ ـ التجوية الكيميائية : Chemical Weathering

وقد ينشط فعل التجوية الكيميائية فى الصخور تحت بعض الظروف الخاصة وهذه تتوقف اساسا تبعا للعلاقة المتبادلة بين الغلاف الجوى والتكوين الصخرى لأسطح المناطق المختلفة من القشرة الأرضية . وعند حدوث التجوية الكيميائية فإنها لا تؤدى فقط الى تفتيت الصخر ، بل ينجم عنها كذلك تحليله وتغير بعض من تكويناته المعدنية الى معادن أخرى قد تكون مختلفة الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية ، وتعرف هذه العملية باسم « التحلل الصخرى » Rock decay [١]

وتعمل غازات الغلاف الجوى على تحليل الصخر بواسطة التفاعل مع المعادن التى تدخل فى تركيبه خاصة على طول أسطح الصدوع (الانكسارات) وفتحات الشقوق الصخرية ، وعلى الرغم من أن هناك غازات أخرى تكون نسبة وجودها بسيطة فى الجو ، ومع ذلك فتأثيرها الكيميائى فى الصخر يعد تأثيرا شديدا ، ومن بين هذه الغازات الأوكسجين وثانى اكسيد الكربون وبخار الماء .

وعندما يتفاعل الأوكسجين مع الصخر فإنه يؤدى الى **أكسدة** معادن الصخر Oxidation ، وتظهر الصخور غالبا باللون الأحمر دلالة على حدوث أكسدة المواد الحديدية بها ، أما اثر فعل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الصخور فيعرف باسم عملية **التكربن** Carbonation وعملية **التميوء** Hydration أو **الحلمأة** على التوالى . كما قد يؤدى وجود الماء كذلك الى اذابة بعض معادن الصخر مثل كربونات الكالسيوم مثلا ، التى تمثل

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

حسن أبو العينين « أصول الجيومورفولوجيا » الطبعة الحادية عشرة الأسكندرية (١٩٩٥)

نسبة كبيرة من تركيب الصخور الجيرية ، وتعرف هذه العملية الأخيرة باسم عملية الاذابة Solution .

ومن بين أحسن الأمثلة التى توضح فعل التجوية الكيميائية هى تلك التى تتمثل فى الصخور الجرانيتية . فيتركب صخر الجرانيت من معادن أهمها الكوارتز Quartz ، والفلسبار بنوعيه ، الفلسبار الارثوكلازى Orthoclase (سليكات الالومنيوم والبوتاسيوم) والفلسبار البلاجيوكلازى Plagioclase Feldspar (سليكات البوتاسيوم والصوديوم أو الكالسيوم) ، والبيوتيت Biotite والمسكوفيت Musovite ونسب صغيرة من بعض المعادن الأخرى ومنها الزركونZircon والأبتيت Abatite . وعلى ذلك يختلف تأثير فعل التجوية الكيميائية فى المعادن المكونة للجرانيت من معدن الى آخر . فمثلا لا يتأثر معدن الكوارتز بفعل التجوية الكيميائية ويبقى كما هو دون أن يطرأ عليه أى تغيير تبعا لشدة صلابته وعدم قابليته للتحلل أو الذوبان ، ويشابه الكوارتز كل من معدنى الزركون والمسكوفيت . فبينما يعد الفلسبار الارثوكلازى قابل للتحلل الكيميائى ، حيث أنه يتكربن أو يتحلل الى سليكا قابلة للذوبان وملح البوتاسيوم ، وقد تؤدى البقايا المتراكمة من السليكا الى تكوين مادة الصلصال Clay فإن الفلسبار البلاجيوكلازى يتحلل عادة الى صوديوم وأملاح الكالسيوم ويكون فى النهاية كذلك مادة الصلصال . ويتضح من هذا المثال أن عمليات التحلل الكيميائى قد يتولد عنها ظاهرات جديدة . ولفعل التجوية الكيميائية أثركبيراً فى تحليل طبقات الجير وتكوين ظاهرات عديدة فيها مثل الكهوف الجيرية والحفر الكارستية .

كما تعمل الكائنات الحية مثل جذور الاشجار والديدان والنمل الأبيض والبكتيريا والحيوانات القارضة وخاصة الكلاب البرية والأرانب والماشية وكذلك الانسان على تجوية سطح الأرض بيولوجياً .Biological and Anthropogentic Weathering

ولا تستقر المفتتات الصخرية بعد تفكيكها ميكيانيكيا أو تحللها كيميائيا فى موقع ثابت ، بل كثيرا ما تكون معرضة للحركة المستمرة

Mass Wastage من مكان الى أخر بواسطة فعل الجاذبية الأرضية وعن طريق كل من النقل Transportaiton ، والزحف Creeping ، والتساقط Falling ، والانسياب Flawing ، والانزلاق Sliding ومن ثم تتجه المفتتات الصخرية دائما نحو المنحدرات السفلية أو تتدحرج وتنزلق من أعلى إلى أسفل ، ويشكل عملية تحركها العوامل الآتية :

أ- زيادة الضغط الواقع فوق المفتتات الصخرية تبعا لازدياد تراكمها فوق بعضها البعض .

ب- زيادة نسبة الرطوبة فى الرواسب وارتفاع كمية المياه فيها .

جـ- فعل الجاذبية الأرضية .

د- شكل الانحدار العام للسطح .

هـ- اختلاف التكوين الصخرى للمواد التى تتألف منها المفتتات الصخرية

وتبعا لهذه العوامل السابقة قد تكون حركة تدفق المفتتات الصخرية بطيئة وينجم عنها تكوين الظاهرات التضاريسية الناتجة عن عمليات الزحف ، أوقد تكون سريعة وتؤدى الى تكوين ظاهرات تضاريسية أخرى تنتج عن عمليات التساقط والانزلاق .

ثانياً - عوامل التعرية

إذا كان التكوين الصخرى ونظام البنية الجيولوجية لهما الأثر الأكبر فى خصائص مادة الصخرة وتنوع صلابته من جزء الى أخر ، فإن عوامل التعرية هى التى تشكل فيه ظاهرات تضاريسية جديدة تختلف مجموعاتها من حيث الشكل والنشأة تبعا لتنوع فعل عوامل التعرية من مكان الى أخر . ومن ثم فإن عوامل التعرية أشبه با لنحات الذى يشكل مادة الصخر التى تقع تحت يديه الى أشكال وصور مختلفة . ولا يقتصر فعل عوامل التعرية على نحت الصخر فقط بل تعمل كذلك على نقل المفتتات الصخرية من مكان الى أخر ، وارسابها فى مناطق أخرى قد تبعد كثيرا عن المناطق التى

نشأت فيها . وفى مجال هذه الدراسة سنشير بإيجاز الى نماذج مختارة لفعل بعض عوامل التعرية وتتمثل فالآتى :

١ ـ فعل المياه الجارية السطحية .

٢ ـ فعل المياه الجوفية .

٣ ـ فعل الرياح .

٤ ـ فعل البحر .

٥ ـ فعل الجليد .

١ ـ المياه الجارية السطحية

يقصد بالمياه الجارية السطحية ، المجارى النهرية ومجارى السيول شبه الدائمة الجريان ، والمياه المنصهرة من الجليد والتى تجرى جميعها فوق سطح الأرض وتنحدر من المناطق المرتفعة المنسوب الى الأخرى الأقل منسوبا وتعد الأمطار والثلوج المتساقطة من المصادر الرئيسية لاستمرار جريان المياه السطحية . وتعمل المياه الجارية بما تحمله من رواسب ومفتتات صخرية على شق مجرى النهر فى سطح الأرض وحفره . وقد تتعرض مياه الانهار لعوامل مختلفة تؤثر فى اختلاف منسوب سطح مياه النهر من وقت الى آخر وتتمثل فيما يلى :

أ ـ فعل التبخر الذى يزداد أثره بشكل واضح فى المجارى النهرية التى تخترق مناطق حارة جافة .

ب ـ تسرب بعض مياه مجرى النهر فى الصخور المسامية وخلال فتحات الشقوق والفوالق الصخرية .

جـ ـ دخول مجرى النهر مناطق حوضية أو بحيرات ثم يخرج منها اقل حجما عما كان عليه من قبل .

د ـ عبور المياه مناطق مستنقعية تعمل النباتات فيها على امتصاص نسبة كبيرة من مياه مجرى النهر ، ولو أن بعض هذه المياه تخرج ثانية الى

الجو عن طريق النتح .

كما تختلف سرعة النهر ومدى اتساع مجراه تبعا لما يلى :

أ - حجم المياه الممثلة فى مجرى النهر .

ب - سرعة اندفاع المياه فى مجرى النهر والتيارات المختلفة فيه .

جـ - مدى انحدار مجرى النهر .

د - خصائص المواد التى يحملها النهر وتنوع حجم المفتتات الصخرية .

هـ - اختلاف التكوين والتركيب الجيولوجى للمنطقة الى يمر فيها مجرى النهر .

و - مراحل نمو مجرى النهر وواديه سواء أكـان فى مرحلة الطفولة (بداية نموه) أو الشباب أو النضج .

وتبعا للعلاقة بين كميات التساقط ومدى التبخر وكمية تسرب مياه الانهار ونوع الصخور تختلف كثافة المجارى النهرية . ويمكن القول بأن كثافة المجارى النهرية تزداد بشكل ملحوظ فى المناطق المعتدلة والمعتدلة الباردة نتيجة لزيادة كميات التساقط ، وقلة مقدار التبخر ، فى حين تقل كثافة المجارى النهرية فى المناطق الحارة الجافة تبعا لندرة سقوط الأمطار ، ولشدة درجة التبخر . ومع ذلك قد تتكون أنهار كبرى فى بعض أجزاء من المناطق الحارة الجافة (مثل مجرى نهر النيل فى مصر) خاصة إذا كانت مصادر أو منابع هذه المجارى النهرية تقع فى مناطق خارج نطاق الصحارى الحارة الجافة وتتميز بكثرة سقوط الامطار فوقها .

وتعمل المجارى النهرية على نحت الصخور وتعريتها عن طريق ما يعرف باسم النحت الرأسى للأنهار Vertical Erosion ، حيث تعمل المياه الممتزجة بالمفتتات الصخرية على حفر النهر وتعميقه ، وتؤدى الى تكوين الحفر الوعائية Pot holes فى قاع مجرى النهر . وبمرور الوقت تتسع تلك الحفر وتلتحم مع بعضها البعض ومن ثم يزداد تعمق مجرى النهر فى الصخور ، ويكون لنفس واديا عميقا يبدو على شكل حرف V ويتمثل

عادة بالأجزاء العليا من أحواض المجارى النهرية ، أو بمجرى النهر عندما يكون نشيطا (شكل ١١٦) .

وتنقل المجارى النهرية المفتتات الصخرية والرواسب بطرق مختلفة يمكن أن تتلخص فى الآتى :-

(أ) نقل المواد التى تحللت من الصخر وأصبحت مذابة فى المياه الى الأجزاء الدنيا من النهر . وتختلف عملية التحلل الكيميائى للصخر تبعا لعوامل مختلفة من أهمها تنوع التكوين الصخرى واختلاف درجة حرارة مياه مجرى النهر وشكل الدوامات والتيارات النهرية Eddy Currents

(ب) تفتيت الصخور ميكانيكيا بفعل المياه ونقلها الى المناطق الدنيا من النهر .



(شكل ١١٦) خانق نهر كلورادو فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية

(جـ) نحت جوانب النهر وقاعه عن طريق احتكاك الرواسب المنقولة مع النهر ، وينجم عن ذلك اتساع أرضية قاع النهر من جهة وتكوين الحفر الوعائية Pot Holes بقاع النهر من جهة أخرى.

(د) نقل المفتتات الصخرية عن طريق جرها وتدحرجها على طول امتداد قاع مجرى النهر. وتؤدى هذه العملية إلى تفتيت أطراف الكتل الصخرية وشطف حوافها وجوانبها ، ومن ثم تصبح أصغر حجماً وتميل إلى الشكل المستدير أو البيضاوى.

(هـ) قد تنقل مياه النهر كذلك كميات هائلة من الرواسب الصغيرة الحجم القليلة الكثافة عن طريق التعلق بمياه النهر لخفة وزنها . ومثل هذه المواد الخفيفة الوزن الدقيقة الحجم جداً ، كثيراً ما تنساب مع تيار النهر مسافات طويلة صوب الجزء الأدنى من النهر.

وتعمل المجارى النهرية على تكوين ظواهر تضاريسية مختلفة بفعل الإرساب النهرى. ويساعد النهر على إلقاء حمولته وارساب المواد التى ينقلها العوامل الآتية:

(أ) ضعف تيار النهر وقلة انحداره.

(ب) جريان النهر فوق منطقة سهلية مستوية السطح، ضعيفة الانحدار .

(ج) التقاء مجرى النهر بمجارى نهرية أخرى تؤدى إلى تجمع الرواسب فى منطقة الالتقاء النهرى.

(د) دخول النهر منطقة حوضية أو بحيرة ما ، ومن ثم قد يعمل النهر على إرساب حمولته فى قاع البحيرة أو على شواطئها.

(هـ) ضعف قوة النحت الرأسى للنهر عندما يقترب منسوبه من مستوى سطح البحر الذى يصب فيه ، ومن ثم يترنح مجراه من موقع إلى أخر، ويرسب ما يحمله من مواد ومفتتات صخرية.

اختلاف المظهر الجيومورفولوجى العام لمجرى النهر ووادية

يعتبر الباحث وليم موريس دافيز أول من ميز بين المجارى النهرية المختلفة على أساس تطور نموها وذلك فى عام ١٨٩٢ . فقط لاحظ دافيز بأن هناك أنهاراً نشيطة تعمل على تعميق وديانها بفعل النحت الرأسى كما هو الحال بالنسبة لخانق كلورادو العظيم ، في حين تتميز بعض الانهار بضعف عمليات النحت الرأسى التى تقوم بها ومن ثم تخترق مناطق سهلية مستوية السطح كما هو الحال بالنسبة للقسيمن الأوسط والأدنى من نهر النيل والقسم الأدنى من المسيسبى . وعلى ذلك صنف دافيز الانهار الى ثلاث مجموعات هى :

(أ) أنهار فى مرحلة الطفولة - اى بداية مراحل نمو النهر .

(ب) أنهار فى مرحلة الشباب - منتصف حياة النهر .

(جـ) أنهار فى مرحلة النضج - آخر مراحل دورة نمو النهر .

كما لاحظ دافيز بأن حوض النهر المثالىIdeal Stream ذاته يمكن أن يقسم الى تلك الأقسام السابقة تبعا لتنوع الظواهر التضاريسية بكل قسم واختلاف خصائص المجرى فيه . فاوضح دافيز بأن معظم الأحواض النهرية المثالية في العالم يمكن ان تتمثل فيها كل من مرحلة الطفولة وخاصة بالقسم الأعلى من النهر ومرحلة الشباب فى القسم الأوسط من النهر ، ومرحلة النضج فى القسم الأدنى من النهر . ولكن هناك بعض الأنهار الشاذة التى قد يظهر فيها مرحلة أو مرحلتان من هذه المراحل المختلفة كما هو الحال بالنسبة للأنهار الجبلية القصيرة التى تصب من منطقة المنابع إلى البحر مباشرة.

ويتميز القسم الأعلى من حوض النهر (خاصة إذا كان فى مرحلة الطفولة) بأن مجراه سريع الجريان، شديد التيار، وتكثر فيه الجنادل والمساقط المائية . وتبدو جوانب النهر على شكل خوانق نهرية عميقة ذات

جدران أو حوائط جانبية عالية. (شكل ١١٧) وتبعاً لارتفاع منسوب الأجزاء العليا من النهر فى هذا القسم، ساعد ذلك على استمرار نشاط



شكل (١١٧) الخوانق النهرية والمظهر العام للحوض الأعلى لنهر نشيط النحت الرأسى والتراجع الخلفى

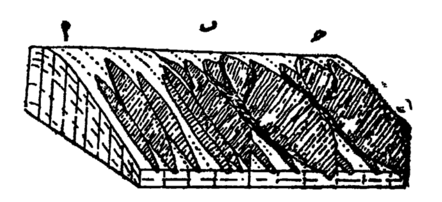
التعرية النهرية وتوالى عمليات النحت الرأسى وينجم عن ذلك سرعة تآكل صخور المنطقة التى يتمثل فيها القسم الأعلى للنهر، وزيادة سرعة تراجع النهر خلفياً نحو المنبع. ويعمل النهر فى هذا القسم من واديه على تفتيت الصخور ونقل تلك المفتتات والرواسب من مناطق المنابع العليا للنهر إلى المناطق السفلى منه.

أما فى القسم الأوسط من حوض النهر (خاصة إذا كان النهر فى مرحلة الشباب (فيتميز مجرى النهر باعتدال تياره وانحداره وهدوء سرعة جريانه، كما تقل تبعاً لذلك درجة النحت الرأسى ذلك لأن منسوب النهر لا يكون على ارتفاع كبير بالنسبة لمستوى سطح البحر- مستوى القاعدة العام) ويلاحظ أن جميع أنهار العالم لا تعمق مجاريها وفقاً لمنسوب واحد معين بل يعمل معظمها (خاصة الأنهار الرئيسة التى تصب فى البحار

المفتوحة حسب مستوى القاعدة العام) فى حين ينحت بعضها الآخر مجاريها رأسياً تبعاً لمستوى القاعدة المحلى والذى قد يكون أكثر ارتفاعاً أو أقل انخفاضاً عن مستوى القاعدة العام. وتبعاً لفعل كل من التعرية الرأسية الجانبية النهرية فى هذا القسم من حوض النهر، تتكون عدة ظواهر خاصة مميزة يمكن إيجازها فيما يلى:

أ- تكوين المجارى النهرية الرئيسة : Master Streams

تبعاً لتنوع التكوين الصخرى يختلف مدى تعمق المجارى النهرية فى الصخور من مكان إلى آخر، ومن ثم نلاحظ فوق المنحدر الواحد بعض الأنهار التى تتميز بشدة عمقها وارتفاع جوانبها الحائطية، فى حين يبدو بعضها الآخر أقل عمقاً. ونتيجة لاستمرار عمليات النحت الرأسية النهرية الشديدة فى مناطق الضعف الجيولوجية ، قد تنجح المجارى النهرية العميقة فى جمع الأودية النهرية الأقل عمقا وضمها داخل أحواضها . (شكل ١١٨) .

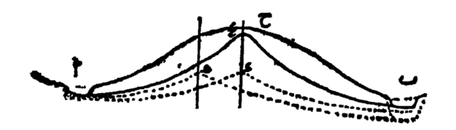


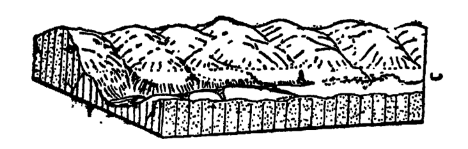
شكل (١١٨) مراحل التحام الأودية الصغيرة فى الوادى الرئيسى الأشد عمقا

ب - ذبذبة خط تقسيم المياه : Shifting of water divides

يقصد بمناطق تقسيم المياه تلك الأراضى العالية المنسوب والتى تفصل بين أعالى نهرين مختلفين ينحدران فى اتجاهين متضادين .

ويلاحظ أن خطوط تقسيم المياه بين هذين الواديين لا تبقى فى مكانها ثابتة دون تغيير ، بل كثيرا ما تتذبذب مواقعها حسب سرعة التعرية النهرية ومدى تآكل جانبى خط تقسيم المياه . فإذا كان هناك نهر على جانبى خط تقسيم المياه أشد قوة ونحتا من النهر فى الجانب الآخر وكليهما ينحت مجراه بشدة فإن خط تقسيم المياه يتميز فى هذه الحالة بتغيره الدائم ويتجه أو يقترب بشدة صوب النهر الأقل عمقا تبعا لشدة التعرية الجانبية للنهر النشيط على الجانب الآخر من خط تقسيم المياه . (شكل ١١٩).





(شكل ١١٩) ذبذبة خط تقسيم المياه تبعا لاختلاف درجة النحت الرأسى والتعرية الجانبية للمجارى النهرية على جانبى خط التقسيم المائى .

جـ - الأسر النهرى : River Capture

تظهر عمليات الأسر النهرى فى القسمين الأعلى والأوسط من حوض

النهـر وفى حالة كـون مـجرى النهـر فى مـرحلة الشـباب ويطلق على النهـر الأسـر اسم Capturing والمأسـور اسم Captured or Diverted St.، ويعمل النهر الآسـر تبعـا لمستوى قاعدة أشد عمقـا من الأنهار الأخرى المجاورة له ، ويرجع ذلك الى مايلى :

أ- عندمـا يكون النهر نهـرا رئيسـا يعـمل لمستوى القاعـدة العام فـيتـميـز بشدة عمق مجراه وشدة انحداره ونشاطه .

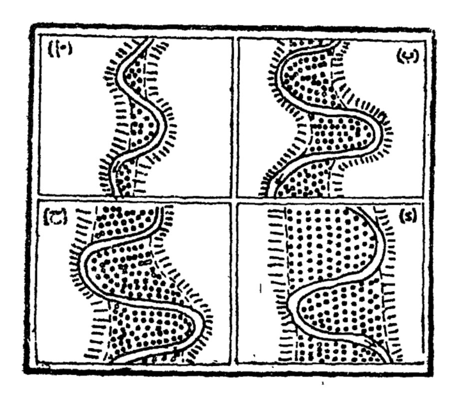
ب - عندما يشق النهر مجراه على طول مناطق الضعف الجيولوجية ، مثل أسطح الصدوع (الانكسـارات) وفتحـات الشقـوق والفوالق وعلى طول نطاق الصـخور اللينة .

جـ - عندما يحتـوى النهر على كميات من المياه فى مجراه اكبر حـجماً من تلك التى تتمثل فى المجارى الأخرى .

ومن ثم تكون عمليات النحت الرأسية والأفقية فى هذا النهر اكبر منها فى النهـر المقـابل من الجـانب الآخـر وينجم عن ذلك تراجع النهـر الرئيسى بسـرعـة نحـو المنبع . وبذا تـكون درجة التـراجع الخـلفى للنهـر الـرئيسى أسـرع منهـا فى النـهـر المقـابل . وبتـوالى عـمليـات النحـت والتـراجع يمكن للنهـر الأسـرع تراجـعـا ان يأسـر اجـزاء من الأنهـار الأخـرى المجـاورة التى تعـمل لمنسـوب أعلى من منسـوب قـاعـدة النهـر الرئـيسى . (راجع شكل ١١٩) .

أمـا بالقسـم الأدنـى من حوض النهـر وفى حـالة كون النـهـر فى مـرحلة الشيخوخـة فيتميز مجرى النهـر خلال هـذه المرحلة ببطء انحداره ، وهـدوء جـريانه وضـعف درجة النحت الرأسى لقـرب منسـوب النهـر من مسـتـوى القاعدة العام ، ومن ثم يصبح الارسـاب من أهم العوامل الى يقوم بها النهر خـلال تلك المرحلة ، وتشكل الظواهـر النـاجـمـة عن فـعل الإرسـاب المظهـر الجـيومـورفولوجى العـام لوادى النهـر فى قسـمـه الأدنى ، وفى حالة كـونه بمرحلة الشـيـخـوخة . ويتـمـيز القطاع العـرضـى من مـجرى النهـر فى هـذا القسـم باتساعه الملحوظ تبعـا لاتسـاع أرضـية الوادى وسـهوله الفـيضـية .

ويترنح مجرى النهر من جانب الى آخر وتكثر فيه المنعطفات Meanders التى تعمل بدورها على اتساع أرضية الوادى وتغطيتها بفرشات سميكة من الرواسب الفيضية . ويوضح شكل ١٢٠ مراحل تطور أشكال المنعطفات النهرية واتساع أرضية الوادى النهرى . ويمكن أن نلخص أهم خصائص مجرى النهر وواديه فى القسم الأدنى من حوضه فيما يلى :



شكل (١٢٠) مراحل نمو المنعطفات النهرية واتساع أرضية الوادى النهرى .

أ- زيادة حدوث التعرية الجانبية نظراً لضعف قوة النحت الرأسى .

ب- اتساع قاع النهر وأرضية واديه تبعا لاستمرار تغير مجرى النهر من جانب الى آخر (نتيجة لضعف الانحدار وبطء الجريان واستواء السطح)

جـ- تكوين المنعطفات النهرية والبحيرات المقتطعة .

د - زيادة اتساع السهل الفيضى وأرضية الوادى .

هـ - المساهمة فى بناء الدلتا .

و - بناء المدرجات النهرية على جانبى النهر .

يتضح مما سبق أن هناك بعض العوامل والظواهر الجيومورفولوجية الخاصة التى تشكل كلا من مجرى النهر ووادية فى أجزائه المختلفة ، وخلال مراحل نموه المتعاقبة . ولكن ليس معنى ذلك أن هذه العوامل وتلك الظاهرات يتوقف مجالها وتكوينها على جزء معين من مجرى النهر وواديه ، بل يمكن القول بأنه يسود أثرها فى جزء ما من مجرى النهر وواديه عن جزء أخر . فلا تعتبر عمليات الأسر النهرى مثلا قاصرة على مجارى الأنهار إبان تطور نموها حلال مرحلة الشباب ، إلا أنها فعلا تعد أكثر حدوثا خلال هذه المرحلة عن احتمال حدوثها خلال المراحل الأخرى من تطور حياة النهر ويلاحظ كذلك أن اهم العوامل التى تقوم بتشكيل كل من خصائص المجرى النهرى وواديه فى الجزء الأعلى هى تلك التى تختص أساسا بعمليات الهدم بينما تلك التى تقوم بتشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام فى الجزء الأدنى من النهر هى تلك التى تختص بعلميات الارساب أو البناء

(٢) المياه الجوفية

لا يقتصر فعل المياه الجوفية على تشكيل جوف القشرة الأرضية فقط ، بل تساهم كذلك فى نشوء ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة فوق سطحها . ويظهر اثر فعل المياه الجوفية فى المناطق التى تتألف من الصخور الجيرية والطباشيرية ، حيث تعمل هذه المياه على تكوين عدة ظاهرات متنوعة منها الحفر المتعمقة ، والمغارات والمنخفضات ، هذا الى جانب عملها فى تكوين ظاهرات أخرى تنشأ فى جوف القشرة الصخرية ومنها الكهوف بمظاهرها وأشكالها المختلفة ومجارى الأنهار الجوفية أو المفقودة Lost Streams . ويمكن أن نقسم المياه الجوفية وفقا لتنوع مصادرها وأماكن وجودها الى الأقسام الآتية :

١ - مياه جوفية عذبة ، وقد يتمثل مصدرها في مياه الأمطار الساقطة أو مياه الثلوج المنصهرة ، وتعرف باسم « المياه الجوية Meteoric Water » وذلك لارتباط نشأتها بعوامل الجو ، وتعتبر المياه الجوية المصدر الرئيسى للمياه الجوفية وتتوقف عملية تسرب المياه الجوفية فى صخور القشرة الأرضية تبعا لما يلى :

أ - درجة مسامية الصخر ، فإذا كان الصخر منفذا للمياه وتكثر به الفراغات المتسعة بين حبيباته يساعد ذلك على تسرب المياه فيه ، ويساعد على تجمعها فى هذه الطبقة الصخرية إذا كانت الأخيرة ترتكز فوق طبقة صخرية أخرى غير منفذة للمياه .

ب - مدى تثأثر الصخر بالشقوق والمفاصل والفوالق.

ج - اتجاه ميل الطبقات الصخرية وشدته.

٢ - مياه جوفية عذبة أو معدنية ، قد تختزن فى الطبقات الصخرية المسامية تبعاً لتجمع بعض المياه الساخنة المنبثقة أثناء حدوث الثورانات البركانية وتعرف باسم « مياه الصهير Magmatic Water »

٣ - مياه جوفية مالحة، وهى التى قد تتسرب من البحار والمحيطات إلى اليابس المجاور تبعاً لميل الطبقات الصخرية المسامية فى عكس اتجاه انحدار الشاطئ . وتعرف باسم « المياه المحيطية. Oceanic Water

٤ - مياه جوفية عذبة و مالحة ، قد ترجع نشأتها إلى اختزانها فى الصخور الرسوبية أثناء عمليات تكوين الصخور نفسها، وساعدت بعض الظروف على انحباسها فى جوف الصخور حتى الوقت الحاضر. ومثل هذه المياه الجوفية نادرة التكوين وتعرف باسم المياه القطرية . Connate Water

٥ - مياه جوفية عذبة قد تتسرب من مياه المجارى النهرية عندما تشق الأخيرة صخوراً عالية المسامية ومنفذة للمياه، كما هو الحال بالنسبة للمياه الجوفية التى تتسرب من مجرى النيل إلى منخفض وادى النطرون خلال وقت الفيضان.

وعلى الرغم من أن هناك بعض الطبقات الصخرية تتميز بأنها عالية المسامية إلا أنها قد تكون فى نفس الوقت غير حاوية للمياه الجوفية، وذلك يرجع إلى عدم انحباس الأخيرة بواسطة صخور صماء غير مسامية تعمل على إيقاف رحلة المياه إلى جوف قشرة الأرض أبعد من العمق الذى وصلت إليه وعندما تتجمع المياه الجوفية فوق صخور غير مسامية وتحتفظ بمنسوبها خلال فصول السنة المختلفة فيعرف هذا المنسوب بمستوى الماء الجوفى Underground Water Table ويختلف عمق مستوى الماء الجوفى من مكان إلى آخر حيث إنه فى المناطق الغزيرة الأمطار وتلك المجاورة للبحار قد يكون قريباً من سطح الأرض ، أما فى المناطق الجافة غالباً ما يكون مستوى الماء الباطنى على اعماق بعيدة من سطح الأرض. ويتميز مستوى المياه الجوفية بأنه ليس ثابتاً، بل هو يختلف من حيث اعماقه من مكان إلى آخر كما يختلف فى المنطقة الواحدة من فصل إلى آخر. فإذا كان مصدر المياه الجوفية يتمثل فى مياه الأنهار السطحية، فغالباً ما يرتفع منسوبه وقت فيضان هذه الأنهار ثم ينخفض منسوبه ثانية إبان التحاريق. اما إذا كان مصدر المياه الجوفية خلال فصل سقوط الأمطار ففى هذه الحالة يرتفع منسوب المياه الجوفية خلال هذ الفصل وينخفض ثانية خلال فصل الجفاف . وتبعاً لاختلاف مدى تشبع الطبقات الصخرية بالمياه الجوفية يمكن أن نميز ثلاث طبقات مختلفة هى:

(أ) طبقة غير حاوية للمياه الجوفية : وهى عبارة عن الطبقات الصخرية العديمة التشبع Layer Of Non - Saturation وقد تكون هذه الطبقة غير مسامية لا تسمح بتسرب المياه فى جوفها و قد تكون عالية المسامية إلا أنه تبعاً لإنفاذها للمياه فإنها تساعد على تسرب المياه كلها خلال جزيئاتها دون أن تختزن المياه فيها، بل تستمر المياه الجوفية فى رحلتها صوب الأعماق البعيدة فى جوف صخور قشرة الأرض.

(ب) طبقة متقطعة التشبع : Layer of Intermittent Saturation وقد تقع هذه الطبقة أسفل الطبقة الصخرية السابقة، وتنحصر بين أعلى منسوب يصل إليه مستوى المياه الجوفية عقب فترة ازدياد حجم المياه ،

وأدنى منسوب يهبط إليه عندما تقل كمية المياه فى جوف الصخر.

(جـ) طبقة دائمة التشبع : Layer of Permanent Saturation

وهى عبار عن خزان طبيعى للمياه الجوفية Aquifer تتجمع فيه المياه بعد رحلتها الطويلة خلال الطبقات، وتستقر فى هذا الخزان خاصة إذا كان قاعه يتألف من طبقة صخرية صماء تمنع تسرب المياه إلى الطبقات الأخرى السفلية.

ولا يتحتم أن تتمثل هذه الطبقات الصخرية الثلاث السابقة فى كل حالة، بل إذا كان مستوى المياه الجوفية قريباً من السطح (كما هو غالباً فى المنخفضات ومناطق السبخات البحرية) فقد لا تظهر الطبقة العليا غير الحاوية للمياه، وتتمثل هنا الطبقتان الأخيرتان. وفى بعض الأحيان تظهر الطبقة الدائمة التشبع على السطح مباشرة، وبذا قد يتميز هذا السطح بظهوره على شكل مستنقعات واسعة الامتداد .

وتختلف كمية المياه التى يمكن أن تحتويها الطبقات الصخرية اختلافاً كبيراً بين كل طبقة صخرية وأخرى تبعاً لاختلاف مسامية هذه الطبقات من ناحية وكمية المياه المتسربة إليها من ناحية أخرى . وتعد أعلى الصخور مسامية تلك الطبقات الرملية أو الحصوية المخلخلة والمفككة، حيث تكثر فيها الفجوات والفراغات الصخرية Interstices وكلما كانت الطبقات مكونة من حبيبات صخرية مختلفة الحجم والشكل يزداد اتساع الفجوات فى الصخور. أما التكوينات المتجانسة Homogenous التى قد تتألف من المواد الطينية أو الصلصالية فقط فهذه تكون عادة متماسكة ولا تسمح بتسرب المياه فى ثناياها اللهم إلا إذا كانت شديدة التأثر بفعل الشقوق والفوالق التى تساعد على تسرب المياه الجوفية خلال فتحاتها . وقد يختزن فى تكوينات اللافا التى تكثر بها الشقوق والفجوات والفراغات كميات كبيرة من المياه الجوفية.

مظاهر المياه الجوفية:

عل الرغم من انسياب المياه الجوفية إلى أعماق بعيدة فى جوف صخور قشرة الأرض إلا انها قد تظهر فوق سطح الأرض من جديد بصور مختلفة . ويساعد ظهورها فوق سطح الأرض حركتها الدائمة فى جوف الصخور والتى ينجم عنها كذلك تشكيل كل من جوف قشرة الأرض وسطحها بظاهرات جيومورفولوجية متباينة. ومن بين أهم هذه المظاهر أو الصخور التى تبدو بها المياه الجوفية على سطح الأرض ما يلى:

(أ) الآبار الارتوازية: Artesian Wells

ويقصد بها تلك الآبار العميقة التى يحفرها الإنسان فى الصخور للوصول إلى المستوى الدائم للمياه الجوفية، ومن ثم تندفع المياه من أسفل إلى أعلى طبيعياً (بواسطة الضغط الهيدروستاتيكى ــ نظرية الأوانى المستطرقة) إلى أن تظهر فوق السطح. وعلى الرغم من أن هذه الآبار قد تدخل الإنسان فى صنعها إلا أن وجودها يرتبط عادة بالمياه الجوفية التى تتجمع فى خزانات الثنيات الصخرية المقعرة من ناحية ، كما أنها تعتبر مظهراً من مظاهر المياه الجوفية على سطح الأرض من ناحية أخرى . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الآبار تلك التى تتمثل فى إقليم أرتوا Artois فى شمال فرنسا ، والآبار الارتوازية فى السهول الوسطى الاسترالية وتلك فى السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية.

(ب) الينابيع : Springs

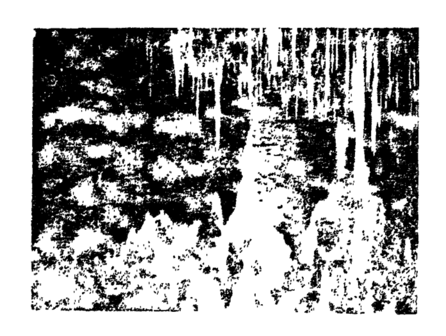
تتكون الينابيع عندما تنبثق المياه الجوفية من الطبقات الحاوية للمياه او خزاناتها الجوفية انبثاقا طبيعياً دون أن يكون للإنسان أى أثر فى ذلك . وقد تتركب مياه الينابيع من مياه معدنية خاصة إذا تجمعت فوق تكوينات صخرية من السهل إذابة بعض تكويناتها المعدنية. وتحمل المياه الجوفية خلال رحلتها الطويلة فى جوف قشرة الأرض على إذابة كثير من معادن الصخور، ومن ثم ترتفع نسبة المعادن فى المياه كما ترتفع كذلك نسبة الكالسيوم وتصبح مياه جيرية عسرة.

وتظهر الينابيع فوق سطح الأرض إذا ما تقطعت الطبقة الحاوية للمياه الجوفية بواسطة جوانب نهرية عميقة ، كما قد تظهر الينابيع تحت أقدام الحافات الصخرية وعلى طول أسطح الصدوع (الانكسارات) أو عندما يعترضها سدود بركانية عرضية أو أفقية.

(جـ) النافورات والينابيع الحارة : Geysers and Hot Springs

دلت الدراسات المختلفة على أنه كلما كانت المياه الجوفية آتية من أعماق بعيدة ارتفعت درجة حرارتها ، ويرجع ذلك الى ارتفاع درجة حرارة باطن الأرض فى الأعماق البعيدة عن السطح . ومن ثم تبين بأن مياه الينابيع الحارة لابد وأن تكون قد تجمعت فى أعماق بعيدة من سطح الأرض ويرجع ذلك الى أن الماء الساخن أعلى قدرة من الماء البارد على إذابة المواد المعدنية التى تتألف منها الصخور من ناحية ، كما أن غاز ثانى أكسيد الكربون الذى تكتسبه المياه الجوفية عادة من الغازات له قدرة كبيرة على إذابة بعض المواد المعدنية من ناحية أخرى .

هذا ويشتد فعل المياه الجوفية عندما تتغلغل فى صخور جيرية عالية المسامية وكبيرة السمك . وقد تنجح المياه فى توسيع فتحات الشقوق الصخرية تبعا لتوالى عمليات التجوية الكيميائية ، ومن ثم قد تتكون الحجرات والمغارات الجوفية . وإذا التحمت المغارات الجوفية بعضها بالبعض الآخر تتكون الكهوف الجيرية الكبيرة الحجم ، وتتشكل أسقف الكهوف وجدرانها وأرضيتها بظواهر مختلفة تبعا لفعل التجوية الكيميائية. ومن بين أهم تلك الظواهر الأعمدة الصاعدة والأعمدة النازلة ومن أظهر أمثلتها تلك بمغارة جعيتا جنوب بلدة جونيه فى لبنان (شكل ١٢١ ، وشكل ١٢٢) .



شكل [illegible]

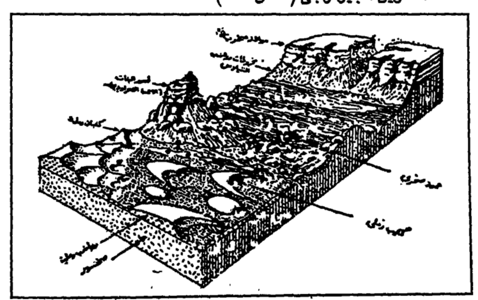


(شكل ١٢٢) تكوين الكهوف الجيرية بعمل المياه الجوفية

(٣) فعل الرياح

فى مناطق الصحارى الحارة الجافة

يعد فعل الرياح من اهم عوامل التعرية الدائمة الأثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لمعظم اجزاء سطح الأرض عامة ، وبالمناطق الصحراوية الحارة الجافة خاصة ، وذلك يرجع الى ندرة الغطاء النباتى من جهة وعدم تماسك الحبيبات الصخرية لسطح الصحراء من جهة أخرى . ومن ثم لا يعرقل فعل الرياح عوائق كبرى تحد من عملها . ومن ثم تعزى نشأة معظم الظواهر التضاريسية بمناطق الصحارى الحارة الجافة الى فعل الرياح كعامل هدم ونقل وارساب . و يشاهد الباحث فى الصحارى الحارة الجافة ظواهر تضاريسية متنوعة مثل الحافات الصخرية ، والموائد الصخرية الصحراوية ، والأعمدة الصحراوية ، والكثبان الرملية ، وتعزى جميع هذه الظواهر أساسا الى اثر فعل الرياح فى نحت وتشكيل صخور مختلفة التكوين الجيولوجى (شكل ١٢٣)



شكل (١٢٣) اثر فعل الرياح كعامل نحت ونقل وارساب فى تشكيل بعض الظواهر التضاريسية بالصحارى الحارة الجافة .

ولا يتوقف مجال عمل الرياح على الصحراء فقط بل قد تتكون بعض

الظواهر الناجمة عن فعلها فى مناطق أخرى بعيدة عن النطاق الصحراوى نفسه . وعلى سبيل المثال تتأثر السواحل الشمالية لجمهورية مصر العربية بواسطة العواصف الترابية الصحراوية والرمال التى تجلبها رياح الخماسين من أواسط الصحراء الكبرى . وتتأثر السواحل الجنوبية لفرنسا كذلك بفعل الرياح المحلية التى تهب من صحراء شمال غرب افريقيا وترسب كميات هائلة من الرمال على طول السواحل الجنوبية لفرنسا المطلة على حوض البحر الأبيض المتوسط .

ويلاحظ أن حمولة الرياح من المفتتات الصخرية تختلف من حيث الشكل والحجم كذلك . وتبعا لثقل المفتتت الصخرية الخشنة الكبيرة الحجم نسبيا فهى تعد أول من يتعرض للسقوط والتراكم عندما تضعف قوة الرياح ، وبذا لا تبعد كثيرا عن المصادر الأصلية التى أشتقت منها أما حبيبات الأتربة والرمال الدقيقة الحجم جدا فهده تبقى مدة طويلة معلقة فى الجو وتحمل مع الرياح لمسافات بعيدة عن المصادر التى اشتقت منها

أولا ـ أهم الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة تبعا لأثر فعل الرياح كعامل نحت أو هدم

يمكن القول إن فعل الرياح كعامل هدم يحصر فى نقطتين هما

أ ـ حمل الرياح درات الرمال والمفتتات الصخرية ونقلها من مصادرها الأصلية الى مناطق أخرى بعيدة تبعا لسرعة الرياح ومدى قدرتها على حمل المفتتات ويلاحظ أن قدرة الرياح على نقل المفتتات الصخرية تزداد عندما يشتد الجفاف ويندر وجود الغطاءات النباتية وتعرف هذه العملية باسم (هبوب الرياح) Deflation .

ب ـ أثناء هبوب الرياح المحملة بالرمال واصطدامها بالحافات الصخرية وبما يصادفها من عوائق جبلية يعمل الرياح بما تحمله من رواسب على تعرية صخور الأخيرة تدريجيا . ويلاحظ أن فعل النحت أو الهدم يشتد فى الأجزاء السفلى من الحافات الصخرية ودلك ليس فقط بسبب ليونة

الصخر ورخاوته فى الأجزاء السفلى منه ولكن كذلك تبعا لزيادة حمولة الرياح من ذرات الرمال وحبيبات الصخر المفتتة خاصة فى الأجزاء السفلية منها والتى تقترب من سطح الأرض . وعند اصطدام هذه الرمال واحتكاكها بقوة فى الصخر ينتج عن ذلك تكوين مناطق ضعف جيولوجية فى الصخور مما قد يعمل فى النهاية على تعريتها وتآكلها بالتدريج . وتعرف هذه العملية باسم فعل كشط أو احتكاك الرياح Wind Abrasion ويمكن أن نلخص أثر فعل احتكاك الرياح فى تكوين بعض ظاهرات السطح فى المناطق الصحراوية فيما يلى :

١ - **تكوين الأسطح الصخرية المصقولة** Polished Surface خاصة فى الطبقات الجيرية نتيجة لتوالى احتكاك الرياح بأسطح هذه الطبقات . فتعمل الرياح المحملة بالرمال على اكتشاف مناطق الضعف الجيولوجى فى الصخر . ومن ثم تحفر أو تعمق الأجزاء اللينة من أسطح الصخر حتى يتكون عليه حذوذ أو خنادق طولية يتراوح عمق كل منها نحو بضعة سنتيمترات وتتبع نفس الاتجاه الذى تهب منه الرياح .

٢ - يتشكل الحصى فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة تبعا لاحتكاكه بالرياح المحملة بالرمال ولذا يبدو مصقولا أملس السطح . ويطلق على عملية تشكيل الحبيبات الصخرية بواسطة الرياح اسم Venti-fact [١] ، كما تعمل الرياح كذلك على كشط الأجزاء المحدبة من الحبيبات الصخرية التى تواجه اتجاه هبوب الرياح ، وقد يكشط الحصى من عدة أوجه إذا تقلب وتعرض عدة مرات متوالية لفعل احتكاك الرياح به . وعلى ذلك تبدو الحبيبات الصخرية ، طويلة الشكل وكثيرا ما تشبه اللوز البرازيلى Brasil Nuts . ويطلق على الحصى والحصباء فى هذه الحالة تعبير Wind-worn Pebble ، أما إذا ظهرت الحبيبات الصخرية على شكل هرمى فيطلق عليها بالألمانية اسم Dreikanters .

٣ - تبعا لاحتكاك الرياح المحملة بالرمال بأسطح الصخور المختلفة

---

(١) المعنى الحرفى لتعبير Ventifact هو « عمل بواسطة الرياح » Made by Wind .

التكوين الجيولوجي أو بمعنى أخر تلك التى تتكون من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صخور لينة ، فقد ينتج عدة ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لسطح الصحراء . فبواسطة فعل احتكاك الرياح بالصخر تتسع جوانب الأودية الصحراوية وفى مراحل متعاقبة قد تتكون كل من الموائد الصخرية Mesa والأعمدة الصحراوية أو قصور البنات Buttee (شكل ١٢٤) .

وتنتشر فى ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية ظواهر جيومورفولوجية مختلفة من الموائد الصخرية والأعمدة الصحراوية التى نتجت بفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال فى الصخور اللينة ونحتها ، وبالتالى بقاء الصخور الصلبة على شكل أعمدة ومصاطب صخرية



شكل (١٢٤) تكوين الأعمدة الصحراوية تبعا لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال فى صخور مختلفة الصلابة

٤ - وفى المناطق التى تتألف من طبقات صخرية أفقية صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة ، قد ينتج عن احتكاك الرياح فى الصخور السفلى اللينة تكوين تجويفات جانبية فى الصخور . وتبعا لاستمرار تآكل الصخور اللينة تتبقى أجزاء من الصخور الصلبة العلوية على شكل رأس المطرقة ، وتعرف هذه الظاهرة باسم زوجين Zeugen ، ويتراوح ارتفاع الغطاءات الصلبة فوق منسوب سطح الأرض المجاور من ٥ الى ١٥٠ قدم .

اما إذا تميزت الظاهرة السابقة بتنوع أشكال الغطاءات الصلبة تبعا لشدة فعل احتكاك الرياح فيها من جهة وتآكل الصخور اللينة السفلى بسرعة من جهة أخرى ، قد تتكون الظاهرة المعروفة باسم « الياردانج Yar-dangs » [1] التى تشبه ضلوع الحيوان ويتراوح ارتفاعها من ٣٠ الى ١٢٠ قدم فوق سطح الأرض المجاور ، وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة خوانق هوائية عميقة تحفر فى الصخور اللينة وقد تتعرض هذه الخوانق الأخيرة للإمتلاء التدريجى بفعل تراكم المفتتات الصخرية التى تتساقط من الجوانب الصخرية المجاورة . وتنتشر مثل هذه الظاهرة فى صحارى أواسط آسيا . كما تظهر كذلك فوق معظم منحدرات المناطق الصحراوية الجبلية فى منطقة أمتامفونا Umtamvuna فى جنوب ناتال بجنوب أفريقيا [2] . (شكل ١٢٥) .

٥ - تبعا لاختلاف التكوين الصخرى فى الطبقات التى تتعرض لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال ، فلا يتساوى مدى فعل الرياح على طول كل جزء من أسطح الصخور ، بل تتجوف وتتعمق الأجزاء الرخوة اللينة من الصخور وتبدو على شكل حفر أو ثقوب فى الصخور بينما تبقى أجزاء الصخر الصلبة على شكل فواصل وأعمدة تفصل بين هذه التجويفات . وتعرف هذه الظاهرة باسم « ثقوب أو كهوف الرياح Wind

(١) أول من استخدم تعبير الياردانج هو الاستاذ بلاك ويلدر فى مقال سنة ١٩٣٤ .
Balckwelder , E., A Yardangs S . Geol. Soc. Amer. Bull., 45(1934) 195-166
وقد شاع استخدام هذا التعبير السابق فى الدراسات الجيومورفولوجية منذ ذلك الحين
(2) Wooldridge S. W., and Morgan, R, S., An Outline of geo-. morphlogy., London (1960), P.274.

Caves ، ومن أجمل امثلتها فى جمهورية مصر العربية ثقوب الرياح التى تتكون فى الصخور الرملية عند رأس الدب بالصحراء الشرقية قرب خليج السويس .



شكل (١٢٥) اشكال ظاهرات الزوجين . والياردانج ، والأعمدة الصحراوية (قصور البنات) فى الصحارى الحارة الجافة .

٦ - من بين أهم نتائج فعل احتكاك الرياح فى الصحارى المصرية كذلك هو تكوين المنخفضات الصحراوية Depression والتى يطلق عليها اسم « الواحات » ومنها منخفضات الخارجة والداخلة والفرافرة والبحرية وسيوه والقطارة فى الصحراء الغربية لجمهورية مصر العربية . ومن أظهر أصحاب نشأة هذه المنخفضات الصحراوية بفعل احتكاك الرياح فى الصخور اللينة الأستاذ بيدنل Beadnell وذلك من نتائج دراسته للواحة الداخلة فى عام ١٩٠١ والفرافرة فى عام ١٩٠١ والخارجة فى عام ١٩٠٩ .

ثانيا - أهم الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة عن أثر فعل الرياح كعامل أرساب أو بناء

تتشابه الرياح مع المياه الجارية فى أنها قد تفقد سرعتها بالتدريج أو فجائيا ، وينجم عن ذلك عرقلة أو ايقاف تأثيرها كعامل نقل ونحت ثم فتح المجال لارساب حمولتها من المفتتات الصخرية المختلفة على شكل ظاهرات جيو موروفولوجية متنوعة . وقد تكون بعض هذه الظاهرات غير ثابتة بحيث أنها تتلاشى ثانية بمجرد هبوب رياح شديدة مرة ثانية ، بينما يمثل بعضها الآخر ظاهرات ثابتة تبعا لكبر حجمها من جهة وتثبيت جذورها فى الأرض بواسطة انضغاطها أو تماسك أجزائها بفعل المياه أو

الحشائش التى قد تنبت فيها من جهة أخرى . ومن بين أهم الظواهر الرئيسة الناجمة عن فعل ارساب حمولة الرياح هى الكثبان الرملية Sand Dunes (شكل ١٢٦) .



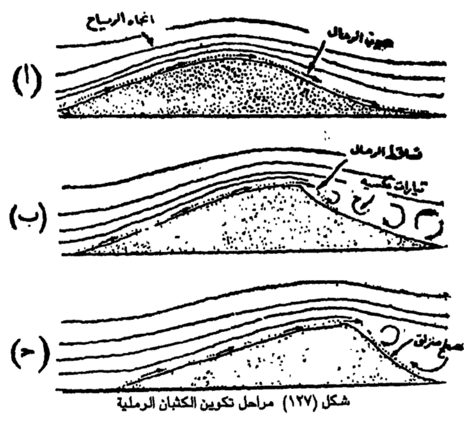
شكل (١٢٦) الكثبان الرملية - اهم مظهر من مظاهر الرياح كعامل أرساب بالصحارى الحارة الجافة

ويطلق لفظ « كثيب » على التلال الرملية التى يختلف ارتفاعها من بضعة اقدام الى عشرات من الأمتار وتتكون أساسا من رمال مستديرة الحبيبات . وقد يكون العامل المساعد فى بداية تكوين الكثيب هو تعرض الرياح لحاجز أو مانع فى طريق اتجاهها وذلك مثل تل أو شجرة أو بناء ما ، أو الى تدنى سرعة الرياح وعدم قدرتها على نقل ما تحمله من رواسب أما إذا تميزت الرياح بشدة سرعتها وقدرتها على نقل كميات كبيرة من الرمال ثم تتوقف حركتها فجأة ، فقد تتكون كثبان رملية هائلة الحجم يتراوح ارتفاعها من ٢٠٠ الى ٥٠٠ قدم كما هو الحال فى بعض أجزاء من الصحراء الكبرى فى افريقيا وصحراء كلورادو فى امريكا الشمالية . ولكن معظم هذه الكثبان حتى الكبرى منها ، معرضة للتزحزح بفعل حركة الرياح ، وهناك ملاحظة أخرى تجدر الاشارة إليها وهى أنه يجب أن

لانتخيل بأن سطح الصحراء يتكون من سهول رملية أو كثبان رملية فقط ، بل هو فى الحقيقة يتشكل بظاهرات جيومورفولوجية أخرى مختلفة ومن بينها الأرصفة الصحراوية والصحارى الحصوية والصخرية والمنخفضات والجبال ، وقد تبين أن نسبة الغطاءات الرملية فى صحراء شبه الجزيرة العربية لا تزيد عن ثلث مساحتها الكلية بينما تبلغ مساحة الغطاءات والكثبان الرملية فى الصحراء الكبرى نحو ١٠٪ من مساحتها الكلية .

كيفية تكوين الكثبان الرملية واختلاف أشكالها :

عندما تضعف قوة الرياح قد تتساقط حمولتها من الرمال التى تتجمع فوق بعضها البعض ويتشكل مظهر تجمعها العام بواسطة حركة الرياح واتجاهاتها المختلفة ، وتتراكم عادة حبيبات الرمال على الجانب المواجه لاتجاه الرياح Windward Slope . ثم قد يتبقى بعضها فى اعالى الكثيب ويتدحرج البعض الآخر على الجانب المظاهر للرياح Lee-Slope وتتشكل عملية تدحرج ذرات الرمال وترحلقها Creeping and Rolling بفعل قوة الجاذبية الأرضية ، ومن ثم تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه للكثيب الذى تنحدر حبيبات الرمال الى ما تحت أقدامه بفعل الجاذبية الأرضية فيتراوح انحداره من ٢٠° الى ٣٠° ومن ثم فإن أولى مراحل تكوين الكثيب هو تجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر منه فوق الجانب المظاهر لها وبالتالى يزداد ارتفاع الكثيب تدريجيا (شكل ١٢٧أ) . وفى المرحلة الثانية تنحدر الرمال من أعالى الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية تحت أقدام الجانب المظاهر لاتجاه الرياح ، وقد تنزلق كذلك كميات كبيرة من الرمال من أعالى الكثيب وتكون انحدارا شديدا إذا ما قورن بدرجة انحدار السطح المواجه لاتجاه الرياح (شكل ١٢٧ ب) وفى المرحلة الثالثة حيث يظهر الاختلاف واضحا بين كل من الانحدار البسيط المواجه للرياح والانحدار الشديد المظاهر لها وتتجمع الرمال على الجانب الآخر الذى يتميز كذلك بتأثره بفعل الدوامات الهوائية Eddy Current



شكل (١٢٧) مراحل تكوين الكثبان الرملية

التى تساهم بدورها على ارتكاز بعض حبيبات الرمال فوق قمة الكثيب وتحول دون هبوطها تحت أقدام الانحدار المظاهر لاتجاه الرياح ، هذا فضلا عن أن الرياح تساعد على تكوين فجوة عميقة فى ظهر الانحدار ولذا يبدو الأخير على شكل مقعر ويكتسب لنفسه (بفعل الرياح القوية عند جانبيه) ذراعين طويلين يمتدان مع نفس الاتجاه السائد للرياح (شكل ١٢٧ ج)

وإذا كان الكثيب منفردا أو منعزلا ، تعمل الرياح على زحزحة جانبى الكثيب بدرجة أسرع منها بالنسبة للقسم الأوسط منه ، وبذا يتخذ الكثيب شكلا هلاليا يعرف باسم الكثيب الهلالى أو البرخان « Cresentic Dune or Barchan » وتتكون مثل هذه الكثبان الاخيرة فى المناطق التى تتميز بدوام هبوب الرياح فى اتجاهات محددة ثابتة . وكثيرا ما تتميز هذه الكثبان بتموجات ظاهرية يبلغ عمقها نحو ثلاث بوصات تدل على أثر حركة الرياح فوق أسطح الكثيب ويطلق عليها علامات حركة تماوج الرياح Ripple Marks . (شكل ١٢٨) أو علامات التماوج .



شكل (١٢٨) نماذج للكثبان الرملية الهلالية الشكل لاحظ علامات تماوج الرياح على أسطح الكثبان

أما إذا اختلف اتجاه الرياح من فصل الى آخر ، فلا يساعد ذلك على تكوين الكثبان الهلالية ، بل كثيرا ما تبدوا التراكمات الرملية متقاطعة مع اتجاه الرياح فى زوايا مختلفة كما قد تظهر كذلك على شكل سيوف طولية رملية « Seif » وتختلف أشكال هذه السيوف الأخيرة تبعا لعدة عوامل من بينها :

١ ـ اختلاف المواد التى تتألف منها السيوف الرملية .

٢ ـ اتجاه الرياح .

٣ ـ طول الزمن الذى تكونت خلاله هذه السيوف الرملية .

٤ ـ شكل سطح الأرض الأصلى الذى تراكمت فوقه الرمال .

ويبلغ ارتفاع بعض السيوف الرملية فى صحراء إيران نحو ٢٥٠ مترا فوق مستوى سطح الأرض المجاور ، وتمتد لمسافات قصيرة تتراوح من كيلو متر الى ٣٠ كم بينما تمتد السيوف الرملية فى الصحراء الغربية لمصر لنحو بضع مئات من الكيلومترات . ومن السيوف الرملية الهامة فى مصر ، غرد أبو المحاريق الذى يبلغ طوله نحو ٣٥٠ كم وبحر الرمال العظيم الذى يبلغ طوله نحو ٥٠٠ كم ومتوسط عرضه ١٥٠ كم ويمتد من جنوب منخفض سيوه حتى هضبة الجلف الكبير فى الجنوب . ويرجع

الاستاذ جون بول تبعا لدراسته الخاصة عن تقدم هذه الكثبان أن غرد أبو المحاريق استغرق تكوينه نحو ٣٥ ألف سنة وأن رماله تتقدم فيه بمعدل ١٠م فى العام .

٤ ـ فعل البحر

كل « شواطىء » [١] البحر وسواحله الحالية ما هى إلا نتاج التطور الذى حدث ومازال يحدث نتيجة لتقدم البحر وتقهقره عن الأرض المجاورة له . فيؤدى ارتفاع مستوى سطح البحر أو إنخفاض الأرض إلي إنغمار أجزاء واسعة من ظاهرات سطح الأرض والتى تكون قد نشأت أصلا بفعل عوامل التعرية الهوائية الأخرى . وانغمار الأرض تحت مياه البحر بهذا الشكل قد يساعد على تكوين « سواحل » [٢] بحرية أهم ما يميز مظهرها الجيومورفولوجى العام هو تشكيلها بواسطة الخلجان Bays والمضايق البحرية Estuaries والفيوردات Fiords والمعابر الأرضية Straits وقد يفصل بين هذه الظاهرات المختلفة أشباه الجزر الأرضية وعلى طول السواحل السهلية الانخفاضية Coasts of Submergence قد تنشأ كذلك خلجان واسعة الامتداد مثل خليج استراليا الكبير فى جنوب استراليا وخليج هدسن فى شمال قارة أمريـ الشمالية أما إذا انخفض منسوب سطح البحر أو ارتفع سطح اليابس والرفارف القارية Continental Shelves المجاورة أو كليهما معا . فينجم عن هذه العملية تقهقر أو تراجع البحر خلفيا ، وتظهر بالتالى أراضى جديدة تضاف الى اليابس كانت تمثل من قبل أجزاء من قاع البحر ، وكثيرا ما تتغطى هذه الأراضى الجديدة (

---

(١) يقصد بتعبير « شاطىء البحر Coast » . تلك الأراضى التى تمتد وراء الجروف البحرية Marine cliffs التى تشرف على الساحل . ويعتبر منسوبها فى معظم الأحيان أعلى من مستوى خط الساحل المجاور .

(٢) يقصد بتعبير « سواحل البحر (Shores) » . مناطق التقاء مياه البحر تبعا لتأثير فعل المد والجزر تعرف باسم السواحل الأمامية (Fore shores) بينما تلك التى تمتد فيما وراء هذه المناطق السابقة وتنحصر بينها من جهة وبين الجروف البحرية من جهة أخرى فيطلق عليها تعبير السواحل الخلفية (Back Shores)

خاصة إذا كانت حديثة العمر الجيولوجى) بكميات هائلة من الرواسب البحرية و.طلق عليها تعبير السواحل البحرية المرتفعة Coasts of Emer-gene والمدرجات البحرية Marine Terraces (شكل ١٢٩) .

والى جانب العوامل المختلفة التى تؤدى الى نشأة السواحل البحرية ، يلاحظ أن الظواهر الجيومورفولوجية الساحلية ، تتنوع من حيث الشكل والحجم والتوزيع الجغرافى تبعا لما يأتى :

أ- تأثير فعل كل من الأمواج وتيارات المد والجزر والتيارات البحرية .

ب- شكل الساحل وامتداده وتكوينه وتركيبه الصخرى .

ويعتبر عامل اختلاف التكوين الصخرى Lithological Variation من بين أهم العوامل التى تشكل المظهر الجيومورفولوجى العام لخط الساحل . فإذا كانت الجروف البحرية التى تشرف على خط الساحل تتألف من طبقات صخرية صلبة متراكبة فوق طبقات صخرية لينة ، وأنها تمزقت وتشققت بفعل الشقوق الكثيفة Heavily Cracked فتتآكل الصخور اللينة بسرعة بفعل تكسر الأمواج وتلاطمها ، وسرعان ما تنزلق الكتل



شكل (١٢٩) مدرج بحرى قطعته الأمواج- لاحظ تكوين الجروف البحرية .

الصخرية أو تنهار وتتساقط من أعالى الجروف البحرية لتتقدم الى البحر رواسب قارية جديدة تتجمع فوق أرضية قاعه ويشتد فعل التعرية وتتآكل الجروف البحرية بسرعة إذا كانت المادة اللاحمة لصخور هذه الجروف ضعيفة التماسك ، كما هو الحال فى معظم أجزاء سواحل كل من شرق انجلترا ومقاطعتى سسكس Sussex وهامبشير Hampshire . فعندما تتعرض جروف هذه السواحل لفعل التعرية البحرية تنهار صخورها بسرعة ذلك لأنها تتألف من صخور بلايوسينية لينة غير متماسكة .

ولكى ندرك مدى سرعة التعرية البحرية على طول السواحل الشرقية لانجلترا فقد أوضح الأستاذ ستيرز Steers1953 [١] بأن مقدار التراجع الخلفى لساحل إقليم هولدرنس Holderness فى شرق انجلترا بلغ نحو ٢١٥ قدماً فى نحو ٣٧ عاما ، أو بما يعادل تراجع خط الساحل نحو ستة أقدام سنويا ، وتتراجع السواحل خلفيا بسرعة ملحوظة . إذا كانت تتألف صخورها من الغبار والرماد البركانى الرخو الضعيف التماسك Soft Volcanic Ash كما هو الحال بالنسبة لسواحل جزيرة كراكاتاو Karkatoa (فيما بين سومطرة وجاوه)

وقدر الأستاذ أمجروف Umbgrova فى عام ١٩٥٤ أن هذا الساحل يتراجع فى بعض أجزائه بمعدل ١ قدما سنويا خاصة فى أجزائه التى تتألف من الرماد البركانى الضعيف التماسك وإذا استمر فعل الأمواج فى تفتيت صخر الساحل فلابد وأن تنقل هذه المفتتات بعيدا عن أقدام الجروف البحرية . أما إذا لم تستطع الأمواج وحركة تيارات المد والجزر على حمل هذه المفتتات فإنها تكون حاجزاً حصويا يعرقل فعل نحت الأمواج وتخفيف مدى هدمها لصخور الساحل .

وإذا كانت الجروف البحرية تتركب من طبقات صخرية لينة كبيرة السمك وتقع أسفل طبقات صخرية صلبة تكثر فيها الشقوق الطولية ، فقد يساعد هذا التركيب الجيولوجى على حدوث عمليات الانزلاق الأرضى Landslides التى تساعد بدورها على تراجع الجروف البحرية ، واستمرار

تاكلها بفعل التعرية البحرية . وتتمثل هذه الحالة فى بعض أجزاء من سواحل إقليم كيثينيس بانجلترا وكذلك فى بعض أجزاء من ساحل منطقة سيتون Seaton فى دفون شير Devonshire بجنوب غرب انجلترا . وتبعا لتعدد العوامل التى تؤثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجي للسواحل ، ومدى تراجع الجروف والحوائط البحرية تنوعت الظاهرات الجيومورفولوجية على طول سواحل القارات ، واختلف مظهرها العام من جزء الى أخر تبعا للظروف المحلية الخاصة بكل ساحل . وعندما يشتد فعل تراجع الجروف Cliff Recession خلفيا ، تترك أمامها سهولا أو مدرجات بحرية مستوية السطح ، كما هو الحال بالنسبة للمدرجات البحرية فى منطقة لاجولا بساحل كاليفورنيا . (شكل ١٣٠) .

وعندما تتكون الجروف البحرية من طبقات صخرية غير متجانسة ومختلفة الصلابة ، سرعان ما تعمل الأمواج على نحت الصخور اللينة ، ومن ثم تكتشف مناطق الضعف الجيولوجى فيها ، وبمرور الزمن تتسع هذه الفتحات وتتكون ظواهر خاصة مثل الفجوات البحرية والكهوف البحرية (١) .

وقد تعمل الأمواج على استمرار تآكل الصخور اللينة ، ومن ثم يختل توازن الصخور العليا الصلبة وتتعرض للسقوط والانزلاق ، وإذا تصادف أن تكونت فجوتان فى اتجاهين متضادين ، فقد تعمل الأمواج على التحامهما ببعضها البعض ، وتتكون ظاهرة الجسر أو القوس البحرى Arch or Sea Bridge أما إذا اختل توازن أسقف القوس البحرى وانهارت صخوره ، تنفصل ألسنة الجروف الصخرية ، وتتكون المسلات البحرية Sea Stacks .

---

(1) Steers, J.A.,"The sea coast ", London, (1953).

ب- حسن أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، - مؤسسة الثقافة الجامعية - الأسكندرية - الطبعة الحادية عشرة (١٩٩٥) .

ومن بين أجمل اشكال المسلات البحرية . تلك التى تتكون فى الطبقات الطباشيرية على طول بعض أجزاء من السواحل الغربية لجزيرة وايت Isle of Wight بانجلترا ، وخاصة مسلات النيدل The Needles والمسلات البحرية التى تتكون فى صخور الحجر الرملى الأحمر القديم Old Red Sandstone، فى سواحل أوركنى Orkneys بشمال انجلترا ، وعند رأس دنكاسبى ، بإقليم كيثينيس Caithness بانجلترا

كما تتمثل المسلات البحرية أمام ساحل مدينة بيروت (لبنان) بأشكال مختلفة وأكبرها حجما تلك المعروفة باسم « الروشة »



شكل (١٣) مسلة بحرية انفصلت عن الجروف البحريه لاحد نكوين المدرجات البحرية

وتظهر المسلات البحريه كذلك على طول بعض أجزاء من السواحل الشمالية الغربية لجمهورية مصر العربية . وأشهرها المسلات البحرية أمام ساحل مرسى مطروح وفى شتاء عام ١٩٦٤ . تعرضت قاعدة أحدى هذه المسلات الأخيرة لفعل الأمواج الشديدة ومن ثم احتل توازنها وسقطت فوق أرضية البحر

أما إذا كانت صخور الجروف البحرية تتميز بصلابتها وعدم مساميتها ، وأن المادة اللاحمة لجزيئات هذه الصخور شديدة التماسك ، فإنه يقل بالتالى أثر فعل الأمواج فى تعرية صخور الساحل . ولكن مع هذا يستمر فعل التعرية بل ويظهر واضحا على طول مناطق الضعف الجيولوجى التى تتمثل عادة فى فتحات الشقوق وأسطح الصدوع . وبمرور الزمن تتسع هذه الفتحات بفعل التعرية البحرية وتكون فجوات داخلية عميقة فى جوف الصخر .

يتضح من هذا العرض أن البحر يقوم بعدة عمليات مختلفة يشكل فيها الظاهرات الساحلية من جهة ، وأرضية قاعه من جهة أخرى ، وتبعا لاختلاف مستوى سطح البحر وتذبذبه خلال العصور الجيولوجية المختلفة ، نتج عن ذلك اختلاف أشكال البحار وامتداد سواحلها واستمرار عمليات الصراع والنزاع بين اليابس والماء فى تشكيل سطح هذا الكوكب . وتقوم المياه نفسها وكذلك الأمواج بفعل الهدم أو النحت وينجم عن ذلك ميلاد ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لساحل البحر

وتعمل الأمواج كذلك على نقل مفتتات صخور الشاطىء الى داخل المحيط حتى يترسب معظمها فوق أرضية كل من الرفرف والمنحدر القارى والسهول المحيطية ويجم عن حركة المياه الدائمة توزيع الارسابات وانتشارها فى الأعماق المختلفة تبعا لحجم حبيبات هذه الرواسب من جهة والمصدر الذى تفتت أو تحللت منه من جهة أخرى . وفى الأعماق البعيدة يتشكل قاع المحيط برواسب الأوز الدقيقة الحجم Ooze deposits .

٥ - فعل الجليد

تتأثر مناطق سطح الأرض التى غطيت بالتكوينات الجليدية لفترة طويلة من الزمن بظاهرات خاصة ذات شخصية جيومورفولوجية مميزة . وقد كان فعل الجليد خلال فترات عصر البلايوستوسين (العصر الجليدى فى العروض المعتدلة والباردة) أكثر وضوحا وأوسع مجالا عما يبدو عليه اليوم . ولا يزال يشكل فعل الجليد سطح الأرض فى المناطق

القطبية والمناطق الجبلية العالية التى تقع فى مستوى خط الثلج الدائم . وتتنوع الظواهر التضاريسية الجليدية ليس فقط تبعا لاختلاف التركيب الجيولوجى بل كذلك وفقا لأشكال التكوينات الجليدية التى أدت الى تكوينها ، وتتلخص أهم أشكال الجليد فيما يلى :

أ - **الغطاءات الجليدية** : Ice Sheets وتتكون تبعا لتراكم الثلج المتساقط أو بواسطة تجمع الثلج المنحدر من القمم الجبلية على شكل فرشات واسعة الامتداد تنتشر فوق المناطق السهلية . وإذا كان تساقط الثلج غزيراً وظلت درجة الحرارة دون نقطة التجمد لفترات طويلة من الزمن فلا يتعرض الثلج كثيرا للانصهار بل ينجم عن تجمعه فى هذه الحالة تكوين كتل جليدية تتحرك بدورها فوق سطح الأرض على شكل غطاءات واسعة الامتداد . وتعد كل من جرينلند وانتارتيكا المناطق الرئيسة التى لا تزال مغطاة بغطاءات جليدية قارية هائلة الحجم فى الوقت الحاضر.

ب - **الثلاجات أو الأنهار الجليدية** : Glaciers وهذه عبارة عن كتل من الجليد تنحدر من الحقول الثلجية وتتجه الى المنحدرات السفلى بمساعدة فعل الجاذبية . وتكاد تتمثل حقول الثلج الدائمة فى مناطق متفرقة بجميع القارات فيما عدا استراليا . ويتعرض الجليد فوق المنحدرات الجبلية للانصهار خاصة خلال فصلى الربيع والصيف ، إلا أن بعض أجزاء من الجليد قد لا تتأثر بهذا الفعل وتبقى موجودة دائما فوق هذه المنحدرات . ويطلق على هذا المستوى الدائم والذى لا يتعرض الثلج فيه لفعل للانصهار تعبير مستوى الثلج الدائم Snow line . ويختلف ارتفاع هذا المستوى من منطقة الى أخرى ، حيث يقع فى المناطق القطبية على ارتفاع ٢٠٠٠ قدم فى حين يظهر فى جبال الألب على ارتفاع ١٣٠٠٠ قدم وفى الهيملايا على ارتفاع ١٨٠٠٠ قدم .

وتنحدر الانهار الجليدية من مصادرها الأولى فى المناطق المرتفعة ببطء شديد على شكل لسان جليدى يستمد مصدره وقوته من الثلج المتراكم فى الحقول الثلجية Ferns ومن ثم يتعرض النهر الجليدى

للانصهار والتبخر فى الصيف بينما يتقدم الجليد خلال فصل الشتاء ببطء .

وقد تقع مقدمة النهر الجليدى تحت منسوب خط الثلج الدائم والحقول الثلجية بنحو بضعة آلاف من الاقدام . وحيث تتعرض الأنهار الجليدية بالمناطق القطبية فى الوقت الحاضر لفعل التبخر والانصهار فإن مقدمات النهر الجليدى فى تقلص وانكماش وتراجع تدريجى صوب منابعها العليا . وإذا انسابت الأنهار الجليدية من اليابس وانتهى بها المطاف الى البحر أو المحيط المجاور ، فقد تظهر التكوينات الجليدية على شكل جبال ثلجية طافية Ice Bergs تحركها الأمواج وتدفعها التيارات البحرية من مسطح مائى الى آخر فى قلب المحيط . ومن المعروف أن نحو ٠,٩ من حجم هذه الجبال تكون غاطسة فى المياه بينما يظهر القسم الباقى من حجمها طافيا فوق سطح مياه البحر ، ومن ثم تعد الجبال الثلجية الطافية خطرا كبيرا على الملاحة البحرية .

الظواهر التى تشكل سطح الانهار الجليدية (الثلاجات) : Glaciers

يتميز سطح الانهار الجليدية بأنه ليس سطحاً املساً مستوياً ، بل يختلف من جزء الى آخر من حيث الشكل والانحدار والظاهرات العامة التى تتكون فوقه . فإذا تجمع الجليد فى وادى نهرى سابق ، أو انحصر بين جوانب جبلية عالية ، ينحصر النهر الجليدى فى هذه الحالة فى وادى محدد الجوانب ، ولكن عندما ينساب الجليد من وادى متسع الى آخر اقل اتساعا ، سرعان ما يتجمع فوق بعضه البعض ويزداد سمكا ، ويتشكل سطحه المموج بواسطة تجعدات وتجاويف وشقوق مختلفة . أما إذا تقدم الجليد من واديه الى أراضى منبسطة سهلية يقل سمكه ويتسع امتداداه ويتشكل سطحه بفتحات وشقوق عميقة متشابكة تعرف باسم شقوق الجليد Crevasses وتبعا لتراكم الجليد فى القسم الأوسط من مجرى النهر الجليدى فإن هذا القسم يتقدم بسرعة أكبر من تقدم أطراف جانبى المجرى الجليدى . (شكل ١٣١ وشكل ١٣٢)



شكل (١٣١) النهر الجليدى (الثلاجة) .

وتختلف مقدار التعرية الجليدية تبعا لاختلاف الموقع الجغرافى للإقليم ومدى تضرسه ، وتعد المناطق المرتفعة التى ينحدر منها الجليد من المناطق يشتد فيها فعل التعرية الشديدة وتتعرض المناطق السهلية المنخفضة التى تقع تحت أقدام الحافات الجبلية لكل من فعل التعرية والارساب ، فى حين تتشكل مناطق الحدية أو النهائية من الغطاءات الجليدية بفعل الارساب وفى كل من هذه الأقاليم الجيومورفولوجية الثلاثة (الجبلية المرتفعة ، والسهلية والحدية) ينشكل التصريف النهرى فيها بفعل المياه المنصهرة من الجليد



شكل (١٣٢) الثلاجة أو النهر الجليدى ، لاحظ تكوين الركامات الجليدية

أولا : بعض الظاهرات الجليدية فى المناطق الجبلية المرتفعة : Glaciated highlands

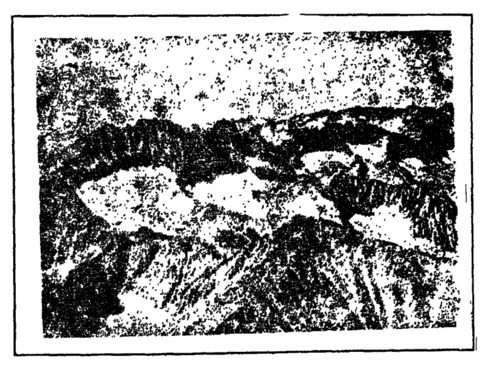
قد يغطى الجليد معظم الأراضى المرتفعة فى المناطق القطبية فيما عدا قمم الجبال العالية الشديدة الإنحدار التى تظهر عادة بارزة فوق سطح الجليد ، ومن ثم تتعرض هذه المناطق الأخيرة لتأثير فعل تجمد المياه وانصهارها .Freeze and Thaw Action وينجم عن هذه العملية اتساع فتحات شقوق الصخر بالتدريج وتكوين مناطق ضعف جيولوجية تؤدى الى تساقط الصخور وانزلاق الأرض . أما فى المناطق التى تقع أسفل القمم الجبلية والتى تغطى بالجليد طوال السنة فإن تأثير حدوث فعل تجمد المياه وانصهارها فى جوف الصخر يكون محدوداً . (شكل ١٣٣) .



شكل (١٣٣) الوادى الجليدى على شكل حرف (U)

وتعد ظاهرة الحلبات الجليدية Corries من بين أهم الظواهر التى ترمز الى حدوث فعل التعرية الجليدية فى المناطق الجبلية . وتعرف هذه الظاهرة أيضا باسم Cums or Cirques وتبدو على شكل ظهر الكرسى المستدير Armchair حيث انها تتركب من ظهر شديد الانحدار . (شكل١١٠) وانحدار أمامى بسيط الانحدار وقد يشغل قاع الحلبات الجليدية بعض البحيرات الصغيرة الضحلة التى تنشأ بفعل انصهار الجليد وانحباس المياه فيها بواسطة الركامات والارسابات الجليدية . ويوضح (شكل ١٣٤) نماذج للحلبات الجليدية فى أعالى مرتفعات سيرا العليا بكاليفورنيا .

وقد اكدت الدراسات الجيومورفولوجية بأنه عند تعرض الحلبات الجليدية فعل التعرة الجليدية والهوائية وتساقط لصخور وعمليات الانزلاق ، فإن ظهر الحلبات الجليدية يأخذ فى التراجع الخلفى بمرور



شكل (١٣٤) بعض الحلبات الجليدية فى أعالى مرتفعات سيرا العليا بكاليفورنيا

الوقت وتتسع أرضـيـة الحلبـة وجـوانبـهـا (١) ، وفى مرحلة مـتأخرة تنكمش مـساحة الأراضى الفـاصلة بين الحلبات المجاورة لبعـضـهـا البعض وتتكون حـواجز مضـرسـة ، وقمـم جبلية لم تطرأ عليها بعـد عمليات التآكل التدريجى . ويطلق على تلك الحافـات البارزة ، والتى تشبـه عادة السـيوف الحادة المشـرشـرة اسم Aretes . أما القـمة الجـبلية العليـا فتبـدو على شـكل رأس الهرم أو القرن الجبلى Horn ، ويوضح (شـكل ١٣٥) مراحل تكوين كل من ظاهـرات الحلبـات الجليـدية والسـيـوف الجـبلـيـة البـارزة والهـرم أو القرن الجبلي. الجليدى .



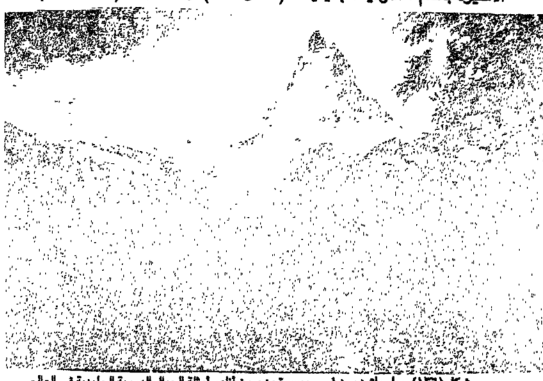
شكل (١٣٥) مراحل تكوين الحلبات الجليدية والقرن الجبلى الجليدى

ومـن بين أجـمل أمـثلة القـرن أو الهـرم الجليـدى جـبل مـاترهـورن The Matterhorn فى سـويسـرة . حـيث عـمـلت الحلبـات الجـليـدية عـلى نحت جوانب هذا الجبل وظهوره بقمة هـرمية بارزة الشـكل ويتجمع الثلج والجيد فى مقعرات الحلبات الجليـدية وتنساب ألسنة الجليد من هذه الحلبات نحو الأودية والثلاجات الجليدية .

(١) للدراسة التفصيلية راجع حسن أبو العينين ؛ أصـول الجيومـورفولوجيا ؛ دار المعارف الاسكندرية ـ ١٩٦٦ ، والطبعة الحادية عشرة (١٩٩٥) .

الأودية الجليدية : Glaciers

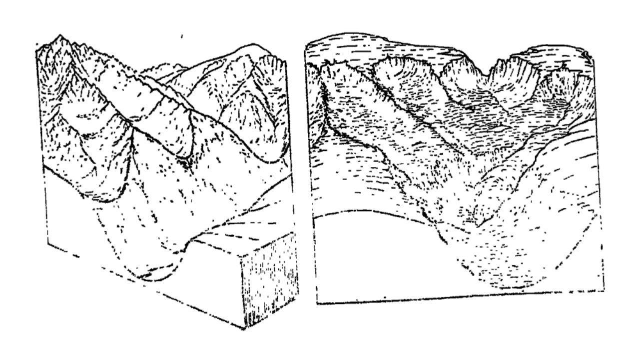
يتعرض الجليد تبعا لانسيابه البطئ بمساعدة فعل الجاذبية الأرضية للتقدم التدريجي صوب المنحدرات السفلى والأراضى المنخفضة ، ولذلك قد يكون الجليد لنفسه أودية محددة الجوانب يتحرك فوق أرضيتها ويحتك بصخور جوانبها ويقشطها ويعمل على تعميق هذه الأودية ، وتعرف الأخيرة باسم « الأودية الجليدية ». (شكل ١٣٦) أو الثلاجات (شكل ١٣٧)



شكل (١٣٦) جبل ماترهورن فى سويسرة وهو من أظهر أمثلة الجبال الهرمية الجليدية فى العالم

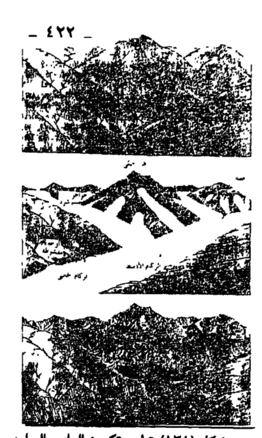
وأهم ما يميز القطاع العرضى للوادى الجليدى ظهوره على شكل حرف (U) بخلاف الأودية النهرية التى تبدو قطاعاتها العرضية - خاصة أثناء المراحل الأولى من نشأتها - على شكل حرف (V) . أما الأودية الفرعية للنهر أو الوادى الجليدى الرئيسى فهذه تظهر غالبا على شكل أودية جليدية معلقة Hanging Valleys حيث لا تصل مستوى قاعها الى المستوى الذى وصل إليه الوادى الرئيسى . وقد يتشكل قاع الأودية الجليدية بعدة ظاهرات جيومورفولوجية تختلف من مكان الى آخر تبعا

لظروف متعددة . ومن بين أهم هذه الظاهرات تلك المعروفة باسم الأحواض المغلقة Enclosed Basins والمدرجات الجليدية Glacial Terraces والصخور الغنمية Roches Moutonnes ويتميز مجرى النهر الجليدى بكونه قليل المنعطفات ، بل يمتد عادة امتدادا طوليا وفى اتجاه مستقيم ، بخلاف الحال مثلا بالنسبة للمجارى النهرية ذات المنعطفات المتعددة .



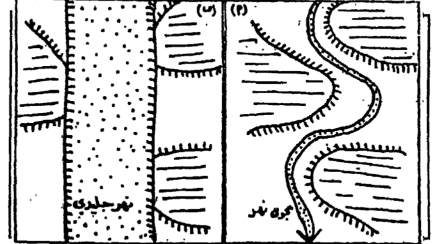
شكل (١٣٧) الشكل العام للوادى الجليدية وأوديته المعلقة .

وتعد كل هذه الظاهرات السابقة الذكر والتى تشكل المظهر الجيومورفولوجى العام للوادى الجليدى (الامتدا د الطولى للمجرى الجليدى والألسنة المقشوطة Truncated Spurs والأودية الفرعية المعلقة وشكل جوانب الوادى وشدة انحدارها) نتاج كل من النحت الراسى والجانبى للجليد . فالألسنة الأرضية المقشوطة مثلا كانت فى بداية نشأتها أراضى مرتفعة بين أودية نهرية صغيرة ، ثم تعرضت للاحتكاك بجوانب



شكل (١٣٨) تطور تكوين الوادى الجليدى والحلبات الجليدية

النهر الجليدى الذى عمل على نحت بروزاتها والسنتها المتداخلة Inter-locking Spurs . (شكل ١٣٩)



شكل (١٣٩) أثر كل من المجرى الجليدى والمجرى النهرى فى تشكيل مناطق البروز - أراضى ما بين الأودية

ثانيا : بعض الظاهرات الجليدية على طول السواحل الجبلية : Glaciated High Coasts

إذا تراكم الجليد أو تجمعت غطاءاته على طول السواحل الجبلية المرتفعة فإن أهم ما ينجم عنه فى هذه الحالة تكوين الظاهرات المعروفة باسم الفيوردات التى هى عبارة عن أودية نهرية جليدية غاطسة تحت سطح البحر . وقد تبين من الدراسات التى أجريت فى قاع الفيوردات أن أعماق المياه فيها تعد أكبر عمقا بالقرب من خط الساحل فى حين تبدو أرضية الفيورد ضحلة نسبيا عند مدخله داخل البحر ، وإن دل هذا على شىء فإنما يدل على شدة فعل النحت الرأسى الجليدى الشديد (بفعل إحتكاك جبال الثلج الطافية) بجوار خط الساحل . ومن المعروف كذلك أن عمق المياه فى الفيوردات أكبر بكثير من التذبذب الرأسى الذى طرأ على مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين . فيبلغ متوسط عمق المياه فى فيورد سوجن Sognefjord فى النرويج نحو ٤٠٠٠ قدم ، ومتوسط عمق المياه عند مدخله نحو ٦٠٠ قدم . فى حين لم يزد التذبذب الرأسى فى منسوب البحر منذ عصر البلايوستوسين حتى الوقت الحاضر عن ٣٠٠ قدم . وعلى ذلك يمكن القول بأن ارتفاع منسوب سطح البحر منذ نهاية البلايوستوسين (تبعا لانصهار الجليد) ليس له تأثيراً كبيراً فى نشوء الفيوردات بالمناطق الجبلية الساحلية الجليدية .

ثالثاً : بعض الظاهرات الجليدية فى المناطق السهلية : Glaciated Lowland

عندما تنحدر الأنهار الجليدية من المناطق المرتفعة الى السهول المنخفضة يتسع سطح الجليد ويزداد امتداده ويقل سمكه ، ويبدو على شكل غطاء جليدى أو فرشات جليدية واسعة الامتداد . وتعمل هذه الغطاءات الجليدية على تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة يتركز الكثير منها فى الأراضى المنخفضة المنسوب ، وترجع نشأة معظمها الى فعل الإرساب الجليدى . وتنقل هذه الغطاءات الجلاميد والمفتتات الصخرية

وترسيبها بصور مختلفة فى المناطق السهلية المنخفضة المنسوب ، وتتلخص أهم هذه الظواهر فى الآتى :

١ - رواسب الطفل الجليدى Boulders :

تعمل الغطاءات الجليدية أثناء انسيابها فوق الأراضى المنخفضة المنسوب على احتكاكها بالصخور ونقل الفتات الصخرية الى مسافات طويلة قد تبعد كثيرا عن مراكزها الأصلية . وعندما تتعرض الغطاءات الجليدية للإنصهار التدريجى تتراكم فرشات الرواسب فوق سطح الأرض وتغطى كل المقعرات الثانوية ، ويطلق عليها « رواسب الطفّل الجليدى » . وتتألف هذه الرواسب من حبيبات صخرية مختلفة الشكل والحجم وهى غالبا ما تكون مقشوطة ومحدبة الجوانب ، وتمتزج مع بعضها البعض بواسطة الرمال الناعمة الدقيقة الحبيبات .

وتعد دراسة رواسب المفتتات الصخرية والطفّل الجليدى من بين أهم العوامل التى تساعد الباحث على معرفة اتجاهات انسياب الغطاءات الجليدية أو بمعنى آخر تحديد المناطق الأصلية التى نشأت فيها ثم الطرق التى سلكتها أثناء تقدمها الى أن أرسبت حمولتها . فتبين مثلا من دراسة أنواع الطفّل الجليدى فى منطقتى لانكشير وفى شرق انجلترا أنها تتألف من مفتتات صخرية مصدرها الأصلى يعود الى صخور شمال اسكتلندا والكتل الجبلية الأركية القديمة فى اسكنديناوه ، وعلى ذلك استنتج الباحثون أن الغطاءات الجليدية كانت ذات مصادر مختلفة ووصلت الى شرق انجلترا آتية من الشمال والشمال الشرقى أى من مرتفعات اسكنديناوة .

٢ - الكتل الضالة : Erratic Blocks

قد يعمل الجليد على نقل كتل صخرية لمسافات بعيدة دون أن تتأثر هذه الكتل كثيرا بفعل الاحتكاك مع سطح الأرض ، ومن ثم لا تتعرض كثيرا للتعرية الشديدة . وبعد تقهقر الجليد الى الوراء تبعا لعمليات الانصهار تتبقى هذه الكتل الصخرية إما على شكل صخور معلقة تتخلف

فوق السفوح الجبلية العالية ، أو على شكل ما يسمى بالكتل الضالة وذلك عندما تتبعثر الكتل الصخرية المنقولة فى بطون الأودية وفوق سطح المناطق السهلية المنخفضة . ومما يؤكد نقل هذه الكتل الصخرية بفعل الجليد ما يلى :

أ- عدم تشابه التكوين الصخرى للكتل الضالة بنوع الصخور المحلية التى تتركز فوقها .

ب- تتشكل الكتل الصخرية الضالة بالخدوش الكثيفة Striations والتى تظهر بوجه خاص على جوانب الكتل وأسطحها ، وهذه إن دلت على شيء فإنما تدل على أن الكتل الصخرية نقلت لمسافات طويلة بواسطة الجليد

جـ- الحجم الهائل لبعض الكتل الصخرية الضالة والتى لا يمكن أن يقوم بنقلها سوى الجليد الهائل الحجم

٣ - الركامات الجليدية . Glacial Moraines

ينقل الجليد كميات ضخمة من المفتتات الصخرية وينحصر معظمها فى الوادى الجليدى الى أن تترسب بأشكال جيومورفولوجية مختلفة . ويطلق على الرواسب الجليدية التى تحملها الانهار الجليدية إسم «الركامات الجليدية» وتتألف هذه الرواسب من مفتتات صخرية مختلفة الشكل والحجم ويتنوع تركيبها الصخرى تبعا لتنوع صخور المناطق التى اشتقت منها والطرق التى سلكتها ، وتبدو عادة على شكل أكوام إرسابية غير متجانسة فى الشكل والتركيب الجيولوجى . وتبعا لموقع هذه الرواسب بالنسبة لأجزاء الوادى الجليدى ، يقسم الباحثون الركامات الجليدية الى المجموعات الرئيسة الآتية :

أ - الركامات الجانبية Lateral moraine

وهى الرواسب المختلفة التى تتجمع على جانبى النهر الجليدى تبعا لاحتكاك الجليد بالصخور اللينة على جانبى الوادى ، وتعرض جوانب

الأودية كذلك لعمليات التجمد والانصهار وتفتيت الصخور التى تتألف منها ، كما يزداد تجمع الرواسب الجانبية تبعا لما يسقط فوقها من صخور بفعل علميات التساقط والانزلاق الأرضى . ومن ثم يختلف سمك رواسب الركامات الجليدية ويتنوع تكوينها الصخرى وفقا لنوع المواد التى تتألف منها تلك الركامات واختلافها من مكان الى آخر على طول النهر الجليدى . (شكل ١٤٠) .

ب - الركام الأوسط Medial moraine

يتكون هذا الركام الجليدى عندما يلتحم ركامان جانبيان مع بعضها البعض نتيجة لاتصال أكثر من مجرى نهر جليدى فى نهرجليدى واحد . وينجم عن ذلك تكوين أشرطة طولية مستقيمة الامتداد من الرواسب تتوسط المجرى الجليدى .



شكل (١٤٠) بعض الظواهر الجليدية فى الأجزاء الدنيا من الأودية الجليدية

جـ - الركام النهائى End moraine

عندما يتعرض النهر الجليدى الى التراجع خلفيا تبعا لانصهار الجليد تتخلف كميات هائلة من الرواسب عند النهايات الهامشية لمجراه ولما كان النهر الجليدى يتعرض لذبذبات متعاقبة يرمز بعضها الى حدوث عمليات تقهقر الجليد فى حين تدل الأخرى على حدوث تقدمه (تبعا لتعاقب حدوث الفترات الدفيئة والأخرى الباردة) أطلق البعض على هذه الرواسب اسم الرواسب التراجعية Recessional moraines . وحيث إن تقدم النهر الجليدى ليس مطردا بل يتميز بحدوث ذبذبات متتالية ترمز الى عمليات التقدم تارة والتراجع تارة أخرى ، لذا يحسن تسميتها بالركامات النهائية الجليدية .

د - الركام الأرضى Ground Moraines

يطلق تعبير الركام الأرضى على مجموعة الرواسب الجليدية التى تحتل الأجزاء السفلى من الغطاء الجليدى النهرى وتتركز فوق قاعه ومن ثم تقع مباشرة فوق سطح الأرض . وتختلف خصائص الرواسب الجليدية وتتنوع أشكالها من مكان الى آخر على طول أجزاء المجرى الجليدى ، إلا أن رواسب الركام الأرضى تتميز بأنها دقيقة الحجم وغير متجانسة التكوين ولا تظهر على السطح إلا بعد انصهار كل أجزاء النهر الجليدى الواقع فوقها (شكل ١٤١) .

٤ - الرواسب الجليدية النهرية : Fluvio-Glacial deposits

عندما تتعرض كل من الأنهار والغطاءات الجليدية للانصهار السريع تبعا لارتفاع درجة الحرارة كما كان الحال فى الفترات غير الجليدية تتكون بعض المجارى المائية خاصة أسفل الغطاءات الجليدية وفى قاع الوادى الجليدى نفسه . وتقوم هذه المجارى المائية بالدور الذى تقوم به الأنهار العادية فى المناطق الأخرى غير الجليدية . ومن ثم تعمل هذه الأنهار على إعادة تشكيل الرواسب الجليدية النهرية وارسابها بشىء من التناسق بحيث تبدو فى صورة شبه طباقية .



شكل (١٤١) الوادى الجليدى ومناطق تجمع الركامات الجليدية المختلفة

- لاحظ الركام الأرضى الذى يحتل قاع الوادى الجليدى

وتساهم هذه الرواسب الجليدية النهرية فى نشوء أشكال جيومورفولوجية مختلفة على سطح الأرض ومن بينها .

أ- رواسب الأسكرز : Eskers

تتألف رواسب الاسكرز من الحصى وفتات الصخور المختلطة مع الأتربة والرمال . وهى تشبه رواسب الطفل الجليدى من حيث التكوين الجيولوجى إلا أن الحبيبات الصخرية برواسب الاسكرز تتميز باستدارتها وشكلها البيضاوى أو الكروى وسطحها الأملس مما يدل دلالة واضحة على أثر فعل التعرية المائية فيها . وقد تتكون رواسب الأسكرز على شكل طبقات يختلف كل منها عن الطبقة التى تقع فوقها أو أسفل منها من حيث التكوين الجيولوجى وشكل الرواسب وأحجامها ، وإن دل هذا على شئ فإنما يدل على أن رواسب الاسكرز لا ترجع الى فترة واحدة بل أنها ترسبت خلال فترات متعاقبة .

وتبدو رواسب الاسكرز فوق سطح الأرض على شكل حواجز تلالية إرسابية تتميز بما يلى :

١ - امتدادها الملتوى تبعا لتشكيلها بالمجارى النهرية الملتوية الامتداد .

٢ - تشابه انحدار جانبيها بحيث تبدو قطاعاتها العرضية متماثلة أو متساوية الجوانب Symmetrical .

٣ - تجمع رواسب حواجز الاسكرز فوق بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الثانوية لسطح الأرض والتى كانت موجودة قبل أن تغطى بالجليد . ولذا تعد رواسب الاسكرز تلال وضعية منطبعة Su-perimposed فوق الرواسب الأخرى فى المناطق الجليدية .

ب - رواسب الكام : Cams

تبدو رواسب الكام على شكل رواسب تغطى بعض المدرجات التى تتمثل على جانبى الوادى الجليدى والذى اعيد تشكيله بفعل المجارى النهرية وتختلف رواسب الكام عن رواسب الاسكرز بما يلى :

١ - ظهورها على شكل قباب صغير محدودة الارتفاع ومتناثرة فوق سطح الأرض وكثيرا ما تتمثل فى هيئة مدرجات إرسابية .

٢ - عدم انتظام عملية ارساب فتات الصخور والحصى فيها كما هو الحال فى رواسب الاسكرز الأكثر منها تناسقا .

٣ - قد تتجمع رواسب الكام فوق أسطح الجليد وخاصة فى بعض الحفر أو داخل الفتحات الواسعة للشقوق الصخرية الجليدية .

وبعد عمليات تقهقر الجليد قد تظهر بقايا رواسب الكام على شكل مدرجات ارسابية جانبية ناشئة عن اثر تراكم الرواسب الجليدية النهرية على جانبى النهر الجليدى . وتتألف الرواسب فى هذه الحالة من الحصى والحصباء المستديرة الشكل . وإذا تصادف أن تجمعت رواسب الكام فوق أجزاء ثابتة من الغطاءات الجليدية ثم تعرضت الأخيرة للانصهار التدريجى ، ترتفع رواسب الكام الى اعلى وتظهرشكل قباب تلالية مستديرة الشكل

٥ - الكثبان الجليدية : Drumline

يطلق الباحثون تعبير الكثبان الجليدية على تلك المجموعة من الرواسب الجليدية التى تظهر على سطح الأرض على شكل تلال كثيبية بعد عملية تقهقر الجليد وتراجعه خلفيا . وتتألف هذه التلال من رواسب جليدية قوامها الطفل والمفتتات الصخرية المعروفة باسم Till .

ويتضح عند دراسة أشكال هذه المفتتات أثر الدور الذى تقوم به فعل المياه فى إعادة تشكيل أسطحها المستوية الملساء ، وشكلها البيضاوى ، وكما هو الحال فى رواسب الاسكرز فإن رواسب الكثبان الجليدية تكونت كذلك أسفل الجليد بفعل المياه المنصهرة . وتتكون الكثبان الجليدية عادة فى مجموعات تحتل مساحات واسعة الامتداد تميز المنطقة التى تتكون فيها بسطح مموج . وحيث أن الكثيب الجليدى تنغمر جذوره فى الرواسب العليا لسطح الأرض ، بينما تظهر أعاليه البيضاوية الشكل فوق سطح الأرض ، لذا أطلق الباحثون على سطح الأرض الذى تشغله هذه الكثبان الجليدية اسم « سطح سلال البيض » Basket of Eggs Relief . وتختلف الكثبان فيما بينها من حيث الحجم والارتفاع ، ويتراوح متوسط ارتفاع الكثيب الجليدى الواحد من ١٠ الى ١٠٠ مترا فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة .

الباب الرابع

بعض الأشكال والظواهر التضاريسية
الكبرى لسطح الأرض

الفصل التاسـع : توزيع اليابس والماء وتكوين القارات فى ضوء نظرية الألواح (الصفائح) الجيولوجية .

الفصل العاشـر : الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة .

الفصل الحادى عشر : الجبال والتلال والهضاب

الفصل الثانى عشر : السهول

الفصل الثالث عشر : الجزر

الفصل الرابع عشر : البحيرات

الفصل التاسع

توزيع اليابس والماء
وتكوين القارات فى ضوء نظرية الألواح (الصفائح) الجيولوجية

ظل سكان العالم القديم يجهلون الكثير عن حقيقة الامتداد الفعلى للمسطحات المائية على سطح الكرة الأرضية وبقى الحال كذلك حتى بداية الكشوف الجغرافية فى القرن الخامس عشر الميلادى . فقبل فترة الكشوف الجغرافية كان البحر المتوسط هو قلب العالم المائى ، كما كان يظن بأن الهوامش الشرقية للمحيط الأطلسى هى عبارة عن البحر المحيط أى الذى يحيط باليابس . وكان من نتائج الكشوف الجغرافية وخاصة رحلات كريستوفر كولومبس الى أمريكا الوسطى وجزر الهند الغربية منذ عام ١٤٩٢ ، ورحلات بالبوا Balboa فى عام ١٥١٣ ، وماجلان Magellan فى عام ١٥١٩ ، وجيمس كوك (١٧٦٩ ـ ١٧٨٠) وتاسمان فى عام ١٦٤٢ فى المحيط الهادى ، ادرك سكان العالم القديم منذ نهاية القرن الخامس عشر الميلادى الاتساع الهائل للمسطحات المائية والامتداد الفعلى للمحيطين الأطلسى والهادى . ومن ثم أكد الأستاذ لونج Long فى عام ١٩٤٢ بأن مساحة اليابس تعد بسيطة جدا إذا ما قورنت بمساحة المسطحات المائية التى تبلغ نسبتها ٧١٪ من أجمالى سطح الكرة الأرضية ومن الدراسة التفصيلية لأعماق البحار والمحيطات وتوزيعها الجغرافى فوق سطح الكرة الأرضية يمكن ملاحظة الآتى :

أ ـ من حيث الامتداد الرأسى للمسطحات المائية أو بمعنى أخر العلاقة بين سمك الغلاف المائى وبين سمك صخور كوكب الأرض يلاحظ أن المسطحات المائية عبارة عن غلاف رقيق السمك جدا حيث يبلغ متوسط سمكه نحو ٢,٤ ميل أى ما يعادل ١ : ١٦٨٠ من متوسط نصف قطر الكرة الأرضية .

٢ - من حيث الامتداد الأفقى للمسطحات المائية أو بمعنى آخر التوزيع الجغرافى العام للمسطحات المائية بالنسبة لتوزيع اليابس على سطح الأرض يلاحظ، أن جملة مساحة المسطحات المائية تبلغ نحو ٣٦١،٠٥٩×١٠^٦ كم٢ (٣٦١ مليون كم٢) أى نحو ٧٠،٨٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . ويمثل المحيط الهادى وحده نحو ١/٢ مساحة سطح الكرة الأرضية ، بينما تبلغ مساحة المحيطين الأطلسى والهندى نحو ١/٥، ١/٧ مساحة الكرة الأرضية على التوالى (١) .

٣ - تبين للعلماء بأن هناك كذلك اختلافات جوهرية للتوزيع الجغرافى بين اليابس والمسطحات المائية فى النصفين الشمالى والجنوبى للكرة الأرضية . فتبلغ مساحة المسطحات المائية فى النصف الشمالى ١٥٤،٦٩٥×١٠^٦ كم٢ أى نحو ٦٠،٧٪ من جملة مساحة النصف الشمالى من الكرة الأرضية . ومن ثم تبلغ مساحة اليابس فى هذا الجزء ١٠٠،٢٨١×١٠^٦ كم٢ أى نحو ٣٩،٣٪ من جملة مساحة النصف الشمالى من الكرة الأرضية ، أما إذا انتقلنا الى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية فيلاحظ أن مساحة المسطحات المائية تبلغ نحو ٢٠٦،٣٦٤×١٠^٦ كم٢ أى نحو ٨٠،٩٪ من جملة مساحة النصف الجنوبى من الكرة الأرضية ، وتبلغ مساحة اليابس فى هذا الجزء نحو ٤٨،٦١١×١٠^٦ كم٢ أى نحو ١٩،١٪ من جملة مساحة النصف الجنوبى من الكرة الأرضية .

٤ - عند تقسيم سطح الكرة الأرضية الى أشرطة عرضية بحيث يبلغ اتساع كل منها خمس دوائر عرضية فيلاحظ زيادة إتساع المسطحات المائية فى العروض القطبية حيث تغطى البحار كل أجزاء سطح كوكب الأرض الواقعة فيما بين ٨٥° - ٩٠° . وتبلغ نسبة مساحة المطحات المائية الواقعة فيما بين دائرتى عرض ٨٠° - ٨٥° شمالا نحو ٨٥،٢٪ من جملة مساحة سطح كوكب الأرض في هذه العروض . بينما يزداد اتساع اليابس فى نصف الكرة الشمالى خاصة فيما بين دائرتى عرض ٤٥° - ٧٠° شمالا .

(١) حسن أبو العينين : دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات ، الطبعة الأولى - بيروت - ١٩٦٧ والطبعة التاسعة - الأسكندرية (١٩٩٦) .

ويتضح أن نسبة مساحة اليابس فيما بين دائرتي عرض ٦٥° ـ ٧٠° شمالا تبلغ نحو ٧١,٣٪ من جملة مساحة سطح كوكب الأرض في هذه العروض . أما بالنسبة لنصف الكرة الجنوبي فيتبين أن مساحة المسطحات المائية تكاد تفوق تلك الخاصة باليابس عند جميع العروض المختلفة اللهم إلا فيما بين دائرتي عرض ٧٠° ـ ٩٠° جنوبا تبعا لامتداد القارة القطبية الجنوبية .

ويوضح الجدول الآتي التوزيع الجغرافي للمسطحات المائية والأرض اليابسة في النصفين الجنوبي والشمالي للكرة الأرضية ، والعلاقة بين نسبة اليابس والماء الى جملة مساحة سطح كوكب الأرض عند كل شريط عرضي يبلغ اتساعه خمس دوائر عرضية :

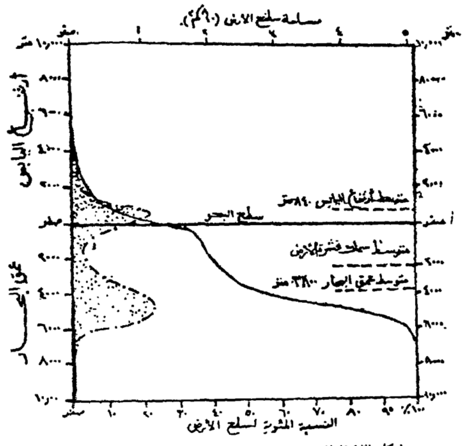
دائرة عرض	النصف الشمالي من الكرة الأرضية		النصف الجنوبي من الكرة الأرضية	
	نسبة مساحة المسطحات المائية٪	نسبة مساحة اليابس ٪	نسبة مساحة المسطحات المائية٪	نسبة مساحة اليابس ٪
٨٥ – ٩٠	١٠٠	–	–	١٠٠
٨٠ – ٨٥	٨٥,٢	١٢,٨	–	١٠٠
٧٥ – ٨٠	٧٧,١	٢٢,٩	١٠,٧	٨٩,٣
٧٠ – ٧٥	٦٥,٥	٣٤,٥	٣٨,٦	٦١,٤
٦٥ – ٧٠	٢٨,٧	٧١,٣	٧٩,٥	٢٠,٥
٦٠ – ٦٥	٣١,٢	٦٩,٨	٩٩,٧	٠,٣
٥٥ – ٦٠	٤٥,٠	٥٥,٠	٩٩,٩	٠,١
٥٠ – ٥٥	٤٠,٧	٥٩,٣	٩٨,٥	٠,٥
٤٥ – ٥٠	٤٣,٨	٥٦,٢	٩٧,٥	٢,٥
٤٠ – ٤٥	٥١,٢	٤٨,٨	٩٦,٤	٣,٦
٣٥ – ٤٠	٥٦,٨	٤٣,٢	٩٣,٤	٦,٦
٣٠ – ٣٥	٥٧,٧	٤٢,٣	٨٤,٢	١٥,٨
٢٥ – ٣٠	٥٩,٦	٤٠,٤	٧٨,٤	٢١,٦
٢٠ – ٢٥	٦٥,٢	٢٤,٨	٧٥,٤	٢٤,٦
١٥ – ٢٠	٧٥,٨	٢٩,٢	٧٦,٤	٢٣,٦
١٠ – ١٥	٧٦,٥	٢٣,٥	٧٩,٦	٢٠,٤
٥ – ١٠	٧٥,٧	٢٤,٢	٧٦,٩	٢٣,١
٠ – ٥	٧٨,٦	٢١,٤	٧٥,٩	٢٤,١
المجموع	٦٠,٧	٣٩,٣	٨٠,٩	١٩,١

٥ - قد يقسم سطح الأرض أيضا من حيث توزيع اليابس والماء الى نصفين : غربى وشرقى . وفى النصف الغربى يشيع وجود الماء إذ تصل نسبته الى نحو ٨١,٢٪ فى حين تقل نسبته فى القسم الشرقى الى نحو ٥٢,١ ٪ . ومن ثم يمكن القول بأن الغطاءات المائية تحتل مساحة واسعة تتمثل فى غرب الكرة الأرضية وجنوبها ، فى حين يتركز أكبر قسم من الكتل اليابسة فى شرق الأرض وشمالها ، وليس غريباً أن يطلق بعض العلماء على كوكب الأرض تعبير « الكوكب المائى » .

٦ - وهناك محاولة أخرى لتقسيم سطح الكرة الأرضية الى شطرين أحدهما يشتمل على المساحة الكبرى من اليابس ويسمى « بالنصف القارى » ويقع مركزه حول مصب نهر اللوار فى غرب فرنسا ، وفيه يتركز نحو ٨٣ ٪ من المساحة الكلية للكتل القارية . أما الثانى فيشتمل على المساحة الكبرى من المياه ويسمى لذلك « بالنصف المائى » ويقع مركزه عند جزر الانتيبود Antipodes الى الجنوب الشرقى من نيوزيلند ، وفيه تبلغ نسبة مساحة المياه ٩٠,٥٪ .

٧ - وقد تبين أن أعماق المحيطات أكبر بكثير من ارتفاع اليابس . فبينما يبلغ متوسط ارتفاع اليابس نحو ٨٤٠ متر ، فإن متوسط عمق المحيطات تصل الى نحو ٣٨٠٠ متر . ولو فرض أن تلاشت تضاريس قشرة الأرض واتخذت شكل سهل مستوى تماما ، لأصبح فى امكان المسطحات المائية الحالية أن تغطى سطح الكرة الأرضية ببحر واسع الامتداد يبلغ متوسط عمقه نحو ٨٨٠٠ قدم . هذا ويلاحظ أن القسم الكبير من اليابس يقع على مناسيب قليلة الارتفاع من سطح البحرحتى عمق ١٠٠٠ م ، فى حين يتبين أن القسم الكبير من البحار يقع على أعماق بعيدة جدا تتراوح من ٤٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ متر (شكل ١٤٢) .

ومن دراسة المناسيب المختلفة لاجزاء اليابس ، يتبين أن اراضى اليابس الواقعة بين منسوب ٦٠٠ الى ٣٠٠٠ قدم تبلغ مساحتها نحو ٢٦ ميلاً مربعاً وتبلغ نسبتها نحو ١٣ ٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . أما تلك المناطق التى يزيد ارتفاعها عن ١٢٠٠٠ قدم ، فهذه تقل نسبة



شكل (١٤٢) المنحنى الهيبسوغرافى لتضرس سطح الأرض .

مساحتها عن ١٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية كما يتضح من الجدول الآتى :

المنسوب بالأرقام	مساحة اليابس عند هذا المنسوب (ملايين الأميال المربعة)	نسبة هذه المساحة الى جملة مساحة سطح كوكب الأرض
أكثر من ١٢٠٠٠	٢	١٪
من ٦٠٠٠ ـ ١٢٠٠٠	٤	٢
من ٣٠٠٠ ـ ٦٠٠٠	١٠	٥
من ٦٠٠ ـ ٣٠٠٠	٦٢	١٣
من صفر ـ ٦٠٠	١٥	٨
المجموع	٥٧	٢٩٪

أما بالنسبة للمسطحات المائية فيلاحظ أن الأعماق التى تقع فيما بين الساحل وعمق ٦٠٠ قدم لا تمثل أكثر من ٥٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . أما تلك الأعماق التى تقع فيما بين عمق ١٢٠٠٠ الى ١٨٠٠٠ قدم فهذه تمثل نحو ٤١٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . ويوضح الجدول الآتى مساحة ارضية البحار والمحيطات عند الأعماق المختلفة ، ونسبة هذه المساحة الى المساحة الكلية لسطح كوكب الأرض :

الأعماق بالأقدام	مساحة أرضية البحار عند هذه الأعماق (ملايين الأميال المربعة)	نسبة هذه المساحة الى جملة مساحة سطح كوكب الارض
صفر - ٦٠٠	١٠	٥٪
٦٠٠ - ٣٠٠٠	٧	٣
٣٠٠٠ - ٦٠٠٠	٥	٢
٦٠٠٠ - ١٢٠٠٠	٢٧	٢٧
١٢٠٠٠ - ١٨٠٠٠	٨١	٨١
أكثر ١٨٠٠٠	١٠	١٠
الجملة	١٤٠	٧١٪

٨ - تتألف المسطحات المائية أساسا من ثلاثة محيطات كبرى هائلة الحجم هى : المحيط الهادى ، والمحيط الأطلسى ، والمحيط الهندى ، وتتصل هذه المحيطات ببعضها البعض عن طريق فتحات واسعة . ويقع أكثر من ٧٠٪ من مساحة ارضية هذه المحيطات فيما بين خطى عمق ٣٠٠٠ الى ٦٠٠٠ متر . ويتمثل اكبر المسطحات المائية المعروفة عمقا بالمحيط الهادى وخاصة فى خوانقه المحيطية الكبرى Deep-sea Trenches كما هو الحال فى خانق ماريانا (١١,٥٠٠م) وتونجا (١٠,٨٠٠ متر) ، وكوريل (١٠,٥٤٠ متر) ، وميندناو (١٠,٠٣٠ متر) . أما الأعماق الضحلة والتى تقع فيما بين خط الساحل حتى عمق ٢٠٠٠ متر ، فلا تزيد مساحتها فى المحيط الهادى عن ٧٪ وفى المحيط الهندى عن ١٠٪ وفى المحيط الأطلسى

عن ١٣٪ بالنسبة للمساحة الكلية الخاصة بكل محيط ، ويوضح الجدول الآتى مساحة أراضى كل من محيطات العالم عند الأعماق المختلفة بالنسبة للمساحة الكلية لكل محيط :.

الأعماق (متر)	الأطلسى	الهادى	الهندى	محيطات العالم
صفر - ٢٠٠	٪ ٥,٦	٪ ١,٧	٪ ٣,٢	٪ ٣,١
٢٠٠ - ١٠٠٠	٤,٠	٢,٢	٢,٧	٢,٨
١٠٠٠ - ٢٠٠٠	٣,٦	٣,٤	٣,١	٣,٤
٢٠٠٠ - ٣٠٠٠	٧,٦	٥,٠	٧,٤	٦,٢
٣٠٠٠ - ٤٠٠٠	١٩,٤	١٩,١	٢٤,٤	٣٠,٤
٤٠٠٠ - ٥٠٠٠	٣٢,٤	٣٧,٧	٣٨,٩	٣٦,٦
٥٠٠٠ - ٦٠٠٠	٢٦,٦	٢٨,٨	١٩,٩	١٦,٢
٦٠٠٠ - ٧٠٠٠	٠,٨	١,٨	٠,٤	١,٢
اكثر من ٧٠٠٠	-	٠,٣	-	٠,١

نشأة المحيطات وتفسير اختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء

حاول العلماء تفسير اختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء ونشأة الأحواض المحيطية نفسها ، واقترحوا فى هذا الشأن ما يزيد على خمسة عشرة نظرية مختلفة ، حاولت كل منها ايضاح العوامل التى شكلت التوزيع الحالى للبحار واليابس فوق سطح الكرة الأرضية . وإن دل تعدد تلك النظريات والافتراضات على شىء فإنما يدل على أنه لم يقبل حتى الآن أى فرض بصورة نهائية ومرضية .

فقد اعتقد كلفن Kelvin بأن القارات كانت فى الأصل عبارة عقيدات قديمة Nuclear Clots متناثرة فى الكتل الغازية الهائلة الحجم التى كانت تتألف منها الأرض عند بداية ميلادها . أما الأستاذ سولاس Sollas ، فقد أوضح بأن سطح الأرض لم يكن مستويا عند بداية نشأته بل كان يتموج على شكل ثنيات محدبة تمثل القارات ، وأخرى مقعرة تمثل أحواض البحار ، ويعزى تكوين هذه الثنيات المختلفة الى تأثير الضغط الجوى الشديد فى صخور قشرة الأرض المرنة (١) .

أما أصحاب **نظرية الكويكبات** Planetesimal hypthesis فقد رجحوا بأن الأشكال التضاريسية الكبرى لسطح الأرض إنما هى وليدة التساقط غير المتساوى للشهب والنيازك فوق سطح الأرض عند بداية ميلادها . أو بمعنى أخر فقد ينجم عن شدة تساقط الشهب وتجمع موادها بناء مناطق مرتفعة هى القارات ، أما تلك الأجزاء من سطح قشرة الأرض والتى لم يتجمع فوقها الكثير من مواد الشهب والنيرك فصارت منخفضة المنسوب وحوضية الشكل ، وأصبحت فيما بعد تمثل الأحواض البحرية الأولية .

أما الأستاذ لابوراث Lapworth,1892 ، فقد اعتقد أنه عند بداية ميلاد كوكب الأرض وتعرض باطنة وقشرته لبرودة التدريجية ، تقلصت مواد باطنة وانكمشت بدرجة أكبر من انكماش القشرة الخارجية للأرض ، وذلك لأن باطن الأرض أشد حرارة من صخور قشرة الأرض . وعلى ذلك هبطت أجزاء من قشرة الأرض إلى أسفل لترتكز على مواد باطن الأرض المتقلصة ، فى حين تموجت القشرة فى كثير من أجزاء سطح الأرض . ويعتقد لابوراث بأنه نتج عن هذه العملية تموج سطح قشرة الأرض مثل تموج مياه المحيطات وأصبحت المناطق المحدبة تمثل القارات والأخرى المقعرة من القشرة الأرضية تمثل البحار والمحيطات .

---

(1) Wooldridge, S.and Morgan, R.S., " An outline of geomorphology, " London, (1961), p.32.

واشار لابوراث بأن أظهر تلك الثنيات المحدبة الكبرى هى ثنية الأمريكتين ويقع فى داخل هذه الثنية المحدبة بعض المناطق المقعرة الأقل حجما والتى أدت الى تكوين سهول حوضية منخفضة المنسوب كما هو الحال بالنسبة لسهل لابلاتا فى أمريكا الجنوبية وسهول البرارى فى أمريكا الشمالية وتتمثل أظهر الثنيات المقعرة الكبرى فى ثنية المحيط الأطلسى المقعرة ، وهى أيضا تأثرت بثنيات محدبة ثانوية أدت الى تكوين الحواجز المحيطية التى تتمثل اليوم فوق أرضية المحيط الأطلسى .ولكن لا تتفق آراء لابوراث مع مبادىء علوم الجيولوجيا ، ولا يمكن قبولها علميا .

وقد حاول الأستاذ لاف Love فى عام ١٩٠٧ ، تعديل آراء لا بوراث ، وبذل جهدا كبيرا لتفسير أسباب تقلص مواد الأرض وتكوين الثنيات المحدبة والمقعرة والتى أدت بدورها الى تكوين القارات والمحيطات . واعتقد «لاف» بأن مركز قوة الجاذبية الأرضية لا يتفق مع المركز الهندسى لباطن الأرض ، وينجم عن ذلك عمليات شد أجزاء من قشرة الأرض نحو مركز قوة الجاذبية الأرضية. وتؤدى هذه العمليات الأخيرة بدورها الى شد بعض أجزاء من سطح الأرض نحو الباطن مكونة أحواض مقعرة كبرى شغلتها المحيطات ، بينما بقيت أجزاء سطح الأرض فى موقعها الأصلى وأصبحت مرتفعة المنسوب وتكونت منها القارات فيما بعد .

ومن بين أظهر النظريات التى قدمت فى هذا الصدد تلك المعروفة باسم **النظرية التتراهيدية** (أو الهرم الثلاثى) والتى وضعها الباحث لوثيان جرين عام ١٨٧٥ ، ونظرية زحزحة القارات التى وضعها « فجنر » فى عام ١٩١٤ ، ونظرية انسلاخ القمر عن الأرض والتى رجحها تشارلس داروين فى عام ١٨٧٨ وأكدها كثير من العلماء من بعده ، ونظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية التى اقترحها العلماء منذ نحو عشرين عاماً مضت .

---

(١) حسن أبو العينين « دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات » - بيروت - ١٩٦٧ والطبعة التاسعة - الأسكندرية (١٩٩٦) .

١ ـ النظرية التتراهيدية (الهرم الثلاثى) Tetrahedral Hypothesis

لاحظ لوثيان جرين فى عام ١٨٧٥ بأن هناك اختلافا كبيرا للتوزيع الجغرافى بين اليابس والماء فوق أجزاء سطح الأرض المختلفة ، كما تتميز الأشكال العامة لأبعاد القارات والمحيطات بخصائص مميزة ، ويمكن أن نلخص مشاهداته فى الآتى :

ز ـ يتركز معظم اليابس فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية فى حين يتركز معظم الغطاء المائى فى النصف الجنوبى منها .

ب ـ ظهور معظم القارات على شكل مثلثات مختلفة المساحة تتجه رؤوسها جميعا نحو الجنوب ، فتبدو قارة أمريكا الشمالية على شكل مثلث تتمثل رأسه فى أمريكا الوسطى وقاعدته الساحل الشمالى لكندا ، وتبدو قارة أمريكا الجنوبية على شكل مثلث تظهر رأسه عند جزيرة تيراديلفويجو وتمتد قاعدته على طول الساحل الشمالى للبرازيل ، وتبدو قارة افريقيا على شكل مثلث رأسه عند منطقة رأس الرجاء الصالح ، ويعد ساحلها الشمالى قاعدة لهذا المثلث ، وتظهر قارة أوراسيا على شكل مثلث واسع الامتداد بحيث تمتد قاعدته على طول الساحل الشمالى لاوراسيا ، ورأسه بالقرب من جزيرة تسمانيا ، ولاحظ جرين كذلك أن محيطات العالم تتخذ جميعا شكلا قريبا من شكل المثلث وخاصة المحيط الهادى الذى يقع رأسه عند مضيق بهرنج .

جـ ـ تقابل اليابس والماء فى نصفى الكرة الأرضية ، إذ نجد تقريباً أن كل جزء من اليابس ، صغر أم كبر يقابله مسطح مائى على الجانب المقابل له من الكرة الأرضية . وهناك حالتان فقط تشذ عن هذه القاعدة وتتمثل الأولى فى كتلة بتاجونيا (جنوب الأرجنتين) التى تقابل قسما يابسا من شمال الصين ، والثانية هى اليابس النيوزيلندى الذى يواجه قسما من أرض شبه جزيرة ايبريا .

د ـ زيادة اتساع المحيط الهادى (١/٣ مساحة سطح الكرة الأرضية) وظهوره على شكل مثلث هائل الحجم ، وتشكيل قاعه بصخور السيما .

وعلى ذلك اعتقد جرين بأنه عندما بدأ كوكب الأرض يتعرض لعمليات البرودة التدريجية ، وتقلص باطن الأرض ، أدى ذلك الى ظهور السطح الخارجي للقشرة الأرضية على صورة المنشور الثلاثى أو الشكل التتراهيدى بحيث احتلت مناطق اليابس أو القارات الأجزاء البارزة من اليابس المنشورى ، فى حين شغلت المحيطات والبحار أسطح المنشور المستوية والمنخفضة المنسوب .

وقد اكدت الدراسات الهندسية كذلك بأن الجسم الذى يفقد حرارته ينكمش ويتقلص وسرعان ما يتخذ شكلا يتناسب مع عمليات انكماش مواده . ويعد الشكل التتراهيدى (الهرم الثلاثى) أقرب هذه الأشكال حيث يتمثل فوقه مساحات واسعة على الرغم من صغر حجمه [1] . غير انه يلاحظ بأن هذه النظرية لا تتفق فى جوهرها مع معلوماتنا الحديثة عن عمليات توازن القشرة الأرضية . بل وحتى إذا كانت الأرض فى مراحل نشأتها الأولى على شكل الهرم الثلاثى ، فكان لابد وأن يتحول شكلها بالتدريج الى الشكل الكروى والمنبعج نسبيا بالمناطق الاستوائية تبعا لدوران الأرض حول محورها ولعامل التوازن .

وقد حاول الأستاذ جريجورى W. Gregory تحقيق نظرية لوثيان جرين التتراهيدية ، واكد بأن هذه النظرية تعد أنسب الافتراضات التى تفسر الأشكال العامة للقارات والمحيطات من جهة وأسباب تباين التوزيع الجغرافى لليابس والماء فى نصف الكرة الأرضية من جهة أخرى .

٢ - نظرية زحزحة القارات : Continental Drift Theory

لاحظ كثير من العلماء أوجه الشبه الكبير بين السواحل الغربية لقارة أوربا وأفريقيا وبين السواحل الشرقية للأمريكتين وخاصة من حيث الشكل العام للسواحل حيث إنها تبدو وكأنها كانت ملتصقة ببعضها البعض فى فترة جيولوجية سابقة ثم انفصلت عن بعض فى فترة

---

(1) Wooldridge S. W., Morgan, K. S. (An outline of geomorphology) , London, (1961) P.41.

جيولوجية لاحقة . وأكد هذه الآراء تشابه التركيب الجيولوجى والبنية الجيولوجية والحفريات والمناخ القديم فى كل من القارات التى تقع على جانبى المحيط الأطلسى .

وتختلف نظرية زحزحة القارات عن النظريات التقليدية القديمة التى رجحها كل من كلفن Kelvin وسولاس Sollas ، ولابوورث Lapworth ولاف Love من قبل ، ذلك لأن هذه النظريات القديمة افترضت تكوين القارات والبحار والمحيطات نتيجة لتزحزح بعض أجزاء من سطح الأرض رأسيا ، وهذه اراء من الصعب قبولها علميا ، ومن البعيد حدوثها فى قشرة الأرض الرقيقة السمك ، هذا فضلا عن اختلاف التركيب الجيولوجى العام للقارات التى تتألف من صخور السيال من جهة ولأرضية المحيطات التى تتألف من صخور السيما من جهة أخرى . أما نظرية زحزحة القارات فهى تفسر توزيع اليابس والماء على أساس حدوث **زحزحة أفقية** فى أجزاء اليابس القديم وتباعد أجزاء اليابس بعضها عن البعض الآخر نتيجة لهذه الزحزحة الأفقية بعد أن حملت كل من الأجزاء المتزحزحة بعض الأدلة الجيولوجية والحفرية والمناخية التى تدل على مظهرها الأصلى ومراحل تطورها الباليوجرافى .

ويعد الأستاذ **فرنسيس بيكون** Francis Bicon أول من أشار الى تشابه سواحل المحيط الأطلسى الشرقية والغربية فى عام ١٦٢٠ ، وأكد بأنها ربما كانت ملتحمة مع بعضها البعض فى فترات جيولوجية سابقة لأن سواحلها تدخل فى بعضها تماما ، وتكاد تكون جميعا قارة كبيرة كانت ملتحمة الأجزاء خلال فترة جيولوجية ما .

وقد اعتقد الأستاذ دانا Dana فى عام ١٨٤٦ بأن الشكل العام للقارات وللأحواض المحيطية ظل كما هو خلال الفترات الجيولوجية المختلفة ، وأن حدث تغيير فإن ذلك كان يقتصر على المناطق الهامشية للبحار وأطراف القارات ، ولم يؤثر ذلك كثير فى تغيير التوزيع الجغرافى لليابس والماء منذ العصر الأركى حتى الوقت الحاضر . أما الأستاذ البريطانى البيولوجى

ادوارد فوربس E. Forbes فقد عارض آراء دانا فى عام ١٨٥٠ ، وأكد بأن هناك كثيرا من العائلات والأنواع النباتية والحيوانية البحرية ممثلة فى مناطق مختلفة من أرضية البحار والمحيطات ولا يمكن تفسير توزيعها الجغرافى إلا نتيجة لحدوث زحزحة فى أرضية البحار والمحيطات . ونفس الحال فيما يتعلق بتفسير بعض الحفريات التى تتمثل فى صخور القارات على جانب المحيط الأطلسى ، وتنتمى هذه الحفريات الى عائلات حيوانية ونباتية واحدة ومن الصعب جدا أن تكون قد عبرت المسطحات المائية بأية وسيلة اخرى وأن إنتشارها لم يحدث سوى بزحزحة القارات .

أما الأستاذ الفرنسى **انطونيو سنيدر** Antonio Snider فقد أوضح فى كتابه المشهور فى عام ١٨٥٨ (١) بأن هناك كثيرا من أوجه الشبه بين السواحل الشرقية والسواحل الغربية للمحيط الأطلسى من الناحية الجيولوجية وتكاد تتداخل هذه السواحل فيما بينها لتكون قارة قديمة هائلة الحجم . وأوضح سنيدر كذلك بأن هذه القارة القديمة تعرضت لزحزحة افقية وانفصلت أجزائها عن بعضها البعض خلال العصر الكربونى ، ورسم خرائط توضيحية لشكل القارة القديمة قبل عملية زحزحتها الأفقية وبعد حدوث هذه العملية . وقد أعجب الجيولوجى البريطانى بيبر Pepper بآراء سنيدر الفرنسى ، وحقق هذه الآراء فيما بعد وذلك خلال عام ١٨٦١ (٢) . وعرض «بيبر» من جديد الخرائط الباليوجرافية التى افترضها سنيدر من قبل ، ولكن لم يهتم العلماء بهذه الآراء التى بدت غريبة خلال هذه الفترة من الزمن (١) .

ثم أعاد الباحث الأمريكى **تايلور** F. B. Taylor هذه الافتراضات القديمة الى الأذهان من جديد وذلك منذ عام ١٩٠٨ . وقد حاول تايلور فى دراساته تفسير أشكال السلاسل الجبلية الكبرى واختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء فوق سطح الأرض . ولاحظ تايلور ما يلى :

---

(1) Antonio Snider , "La Creatiòn et ses myeteres dvoiles ", Paris,1858.

(2) Pepper, G. H., "Playbook of metals ", London,1861.

أ - كانت تقع عند القطب الشمالى وحوله قارة كبرى قديمة تعرف باسم قارة لوراسيا Laurasia . وتزحزت هذه القارة أفقيا وامتدات من القطب الشمالى صوب المناطق الاستوائية من الأرض . وقد شبه تايلور حركة زحف القارة القديمة ، كمثل زحف الكتل الجليدية البلايوستوسينية من القطب الشمالى صوب الجنوب .

وأوضح تايلور بأن زحف قشرة الأرض لا يشبه زحف انسيابات المياه مثلا ، بل لابد وأن تنثنى هذه القشرة وتتمعج فى بعض المواقع وخاصة عند أطرافها الأمامية بفعل عمليات الشد والجذب ، وينجم عن ذلك تكوين سلاسل المرتفعات . أو بمعنى آخر فإن نشأة السلاسل الجبلية الممتدة من الغرب الى الشرق فى أوربا تعزى الى زحزحة قارة أوراسيا من الشمال الى الجنوب .

ب - وفى نصف الكرة الجنوبى اعتقد تايلور بأنه كانت هناك قارة قديمة هى قارة جندوانا تقع بالقرب من مركز القطب الجنوبى . وتعرضت هذه القارة لعمليات الزحزحة الأفقية واتجهت هى الأخرى من القطب الجنوبى جنوبا نحو المناطق الاستوائية شمالا ، ونجم عن هذه الحركة تكوين سلاسل جبلية عرضية .

جـ - نتيجة لزحزحة القارات تعرضت بعض أجزائها لصدوع كبرى وأدى ذلك الى فصل أجزائها الغربية وزحزحتها افقيا نحو الغرب . وهكذا انفصلت الأمريكتان عن قارتى لوراسيا الشمالية وجندوانا الجنوبية ، وتكونت السلاسل الجبلية الطولية التى تمتد من الشمال إلى الجنوب فى الأمريكتين .

غير أنه من أهم نقاط الضعف فى نظرية تايلور أنه أوضح بأن القمر عند بداية انفصاله عن الأرض كان قريبا جدا منها ، وعلى ذلك نتج عن جاذبية القمر الشديدة ، شد قارات السيال (لوراسيا وجندوانا) من

---

(1) Wegener, A. "The origin of Continents and Oceans". Methuen; London "1924".

مواقعهما الأصلية عند المناطق القطبية الى المناطق الاستوائية ومن الصعب قبول هذه الافتراضات علميا فقوة جذب القمر للأرض لا يمكن أن تتضمن تحرك القارات بالشكل الذى وصفه تايلور .

هذا ولم ينجح تايلور فى تفسير نشأة المرتفعات الجبلية الكبرى التى تكونت قبل العصر الكريتاسى ، وهو العصر الذى انفصل فيه القمر عن الأرض حسب اراؤه ، حيث أن هناك كثيراً من السلاسل الجبلية القديمة جيولوجيا (الكارنية والكاليدونية والهرسينية) تكونت فوق سطح الأرض قبل العصر الكريتاسى .

وقد ساعدت أراء الأستاذ تايلور الأمريكى ظهور الكثير من النظريات المختلفة التى حاولت جاهدة تفسير عملية الزحزحة الأفقية للقارات ، وتباين التوزيع الجغرافى لليابس والماء . ومن أظهر هذه الدراسات الحديثة تلك التى قام بها كل من الجيولوجى الألمانى الفريد فجنر Alfred Wegener فى عام ١٩١٤ وكتابات الباحث دى توا Du Toi فى عام ١٩٣٧ عن نظريته فما يتعلق بتجول القارات وزحزحتها [1] ونظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية التى ظهرت حديثاً ومن ثم سيشير الكاتب إليها بشىء من التفصيل .

آراء فجنر

بدأ فجنر ينشر أراءه عن تزحزح القارات افقيا منذ عام ١٩١٢ ، ثم دعم هذه الآراء بعرض لكثير من الأدلة الجيولوجية والباليوجرافية والحفرية فى كتاباته عام ١٩١٥ [1] وفى عام ١٩٢٢ . ومما ساعد على شيوع افكاره فى أنحاء العالم ترجمة كتاباته الى اللغة الإنجليزية فى عام ١٩٢٤ [2] .

واعتقد فجنر بأن يابس سطح الكرة الأرضية كان متجمعا فى كتلة واحدة كبرى أطلق عليها اسم بانجايا Pangaea وكان المحيط الشاسع

---

(1) Du Toit "Our Wandering Continents" 1937.

يحيط بتلك الكتلة من جميع الجوانب . وقد أوضح بأن كتلة بانجايا حتى بداية العصر الكربونى كانت تتألف من قارات كبرى تتمثل فى كتلة أوراسيا (قارة انجارا) والكتلة القطبية والكندية (قارة أركتس) ، والكتلة الأفريقية الجنوبية (قارة جندوانا) ، وكان يفصل بينهما بحر تتس Tethys الجيولوجى القديم .

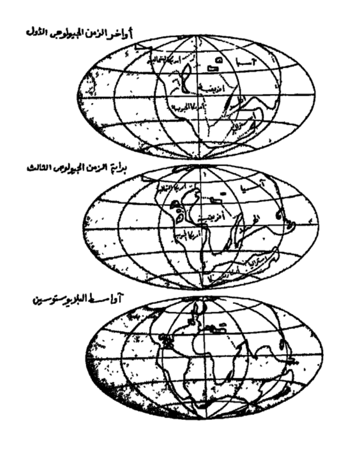
واعتقد فجنر بأن كتلة بانجايا انقسمت وتزحزحت ومما يؤكد ذلك انتشار بقايا رواسب طبقات الفحم فى أوربا وأمريكا الشمالية والتى تكونت تحت ظروف المناخ الحار الرطب وكذلك التوزيع الجغرافى لرواسب العصر الجليدى الكربونى فى مناطق تعتبر مدارية المناخ اليوم . كما أشار فجنر كذلك بأن موقع القطب الجنوبى للأرض خلال العصر الكربونى الأعلى لم يكن فى موقعها الحالى بل كان فى موقع يتوسط كتلة جندوانا القديمة (جنوب افريقيا ـ غرب استراليا ـ انتارتيكا ـ الهند ـ مدغشقر ـ شرق أمريكا الجنوبية) وكان يتمثل فى منطقة رأس الرجاء الصالح تقريبا

ومن ثم كان المناخ القديم للأرض يختلف عن المناخ الحالى وأكد بأن طبقات الفحم الكربونى فى صخور امريكا الشمالية وأوربا (والتى يعتقد بأنها تجمعت من تكوين النباتات المدارية) ترسبت خلال حدوث فترة جليد جندوانا Gonduwana Glaciation فى النصف الجنوبى من الأرض . فى حين تكوّن خلال نفس هذه الفترة الجيولوجية طبقات فحمية فقيرة (فحم جلوسبتريس) تتألف من نباتات باردة ، ونباتات اللبد النباتى ، فى كل من جنوب افريقيا وغرب استراليا وشرق أمريكا الجنوبية وفى الهند .

---

(1) Wegener, A. "Die Entstehung der Kontinent Ozeane",1915.
(2) Wegener, A. "The origin of continents and Oceans ", Methuen ; Methuen London"1924".

وعند نهاية الزمن الجيولوجى الثانى وبداية الزمن الجيولوجى الثالث بدأت تتزحزح القارات تدريجيا نتيجة لشدة لزوجة طبقة السيما لتعرضها للحرارة الشديدة ، فانفصلت قارتا الأمريكتين عن أوروبا وافريقيا وتزحزحت كتلتهما نحو الغرب ، فى حين تزحزحت القارة القطبية الجنوبية (انتارتيكا) نحو الجنوب ، وهضبة الدكن واستراليا نحو الشرق . وساهمت حركة الزحزحة هذه فى تكوين بعض السلاسل الجبلية الكبرى التى انتابت أواسط الزمن الجيولوجى الثالث ، وبدأ يظهر اليابس بشبه صورته الحالية منذ أواسط عصر البلايوستوسين . (شكل ١٤٣) .



شكل (١٤٣) تطور أشكال اليابس والماء خلال العصور الجيولوجية المختلفة حسب تفسير فجنر .

ويعتقد فجنر بأن كتلة السيما كانت أكثر لزوجة عما هى عليه اليوم ، وساعد ذلك على تزحزح قارات السيال فوقها بفعل عاملين رئيسين هما :

أ - **قوة الجذب الأرضية : Gravitational Attraction** وهى التى دفعت صخور السيال القارية نحو المناطق الاستوائية . وقد وصف فجنر عملية زحزحة القارات بتعبير قفز أو انطلاق القارات من المناطق الإستوائية Polfulcht-Flight ، وأسماها كذلك عملية التجول القطبى Polar Wander-ing .

وقد أدت هذه الزحزحة الى تكوين سلاسل جبال عرضية تمتد من الغرب الى الشرق مثل سلاسل مرتفعات الألب فى أوربا والهيملايا فى أسيا والتى نتجت بعد إلتحام قارات السيال .

ب - **قوة المد** : ويقصد بذلك اختلاف قوة جذب القمر والشمس لأجزاء سطح الأرض "Differential attratcion of the moon and the sun on the continents" ، وقد أدت هذه القوة الى زحزحة القارات نحو الغرب كما هو الحال بالنسبة للأمريكتين ، ونجم عن ذلك تكوين سلاسل جبلية طولية على هوامش القارات وتتمثل فى سلاسل الروكى والأنديز ، كما تزحزحت قارة أسيا غربا وتركت أمامها الأقواس الجزرية القارية .

وقد بنى فجنر نظريته على أساس الأدلة العلمية المختلفة الآتية :

أ - تشابه التركيب الصخرى والتطور الجيولوجى لأجزاء قارة جندوانا القديمة (شرق أمريكا الجنوبية والنصف الجنوبى من أفريقيا وشبه القارة الهندية وغرب استراليا و القارة القطبية الجنوبية) . هذا الى جانب تشابه التاريخ الجيولوجى للعصر الكربونى الأسفل بصورة قوية فى كل من هذه القارات المختلفة .

ب - تشابه امتداد السلاسل الجبلية المختلفة العمر الجيولوجى على جانبى المحيط الأطلسى . فقد لاحظ « فجنر » أن امتداد السلاسل الجبلية الكاليدونية فى منطقة نيو انجلند بأمريكا الشمالية يتفق كثيرا مع امتداد

السلاسل الجبلية الكاليدونية فى شبه جزيرة اسكنديناوه وبالجزر البريطانية ، كما تبين كذلك بأن هناك تشابها كبيرا من حيث نشأة السلاسل الجبلية الهرسينية وامتدادها فى كل من البرازيل وأورجواى وجنوب افريقيا (شكل ١٤٤) .

ولكن أخفق «فجنر» فى تفسير امتداد السلاسل الجبلية فوق أرضية المحيطات . ولم تستطع الدراسات الجيولوجية الحديثة أن تؤكد امتداد سلاسل جبال أطلس فى شمال غرب افريقيا الى الغرب لتتصل بجزر كنارى والرأس الأخضر . ولم ينجح الجيولوجيون حتى الوقت الحاضر فى كشف حلقة الاتصال بين سلاسل مرتفعات أطلس فى افريقيا وسيرامادیرا فى أسبانيا ، وليس هناك أدلة تثبت تأثر قاع مضيق جبل طارق وفتح هذا المضيق بتلك الالتواءات الجبلية .



شكل (١٤٤) تشابه امتداد السلاسل الجبلية المختلفة العمر الجيولوجى على جانبى المحيط الأطلسى .

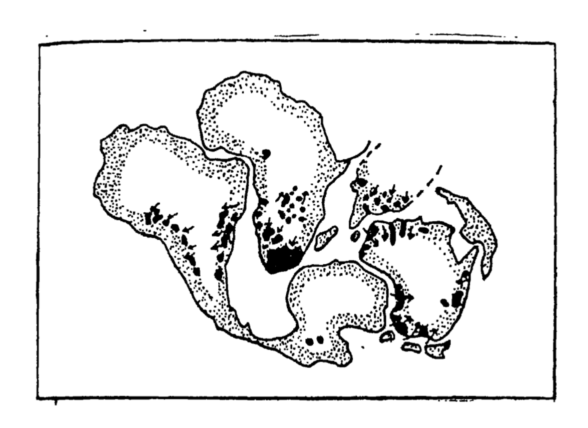
جـ - تشابه الحفريات والمناخ القديم بكتل القارات القديمة على جانبى المحيط الأطلسى . وقد وجد فجنر ارتباطا كبيرا بين حفريات صخور السيلورى الأعلى والديفونى بكل من جنوب افريقيا وأمريكا الجنوبية . وتنتشر فوق تلك التكوينات السابقة رواسب جليدية قديمة ترجع الى جليد القسم الأسفل من الزمن الجيولوجى الأول Late Paleozoic Continental Glacition .

وقد نجح الباحثون فى العثور على رواسب جليدية قديمة تتبع العصر الكربونى وتعرف باسم رواسب التيليت Tillite . واكتشفت هذه الرواسب الجليدية فى مناطق أوريسا Orissa والبنجاب وبالمقاطعات الوسطى فى الهند فى عام ١٨٥٧ . ثم اكتشفت نماذج متشابهة لنفس هذه المجموعة من الرواسب الجليدية فى جنوب غرب استراليا فى عام ١٨٥٩ ، وفى جنوب افريقيا فى عام ١٨٧٠ وفى شرق البرازيل فى عام ١٨٨٨ . ويطلق العلماء على الطفّل الجليدى الكربونى فى جنوب افريقيا اسم دويكا تليت Dwyka Tillite . وتعرضت هذه الرواسب لفعل عوامل التعرية مدة طويلة من الزمن الجيولوجى ولكن بعضها لا يزال منطمرا ومدفونا أسفل رواسب أخرى حديثة العمر الجيولوجى . وأظهر مواقع تلك الرواسب الجليدية الكربونية تتمثل فيما بين الترنسفال شمالا والراس الجنوبى لأفريقيا جنوبا . ويصاحب هذه الرواسب الجليدية الأسطح المصقولة والحذوز الصخرية ، والكتل الضالة مما يؤكد حدوث عصر جليدى قديم (شكل ١٤٥) .

ومن ثم أكد فجنر بأن كتلة جندوانا تعرضت لعصر جليدى قديم خلال بداية العصر الكربونى وذلك قبل تعرضها لعمليات الزحزحة الأفقية وهكذا أمكن تفسير التوزيع الجغرافى لتلك الرواسب الجليدية فى كل من غرب استراليا وهضبة الدكن وجنوب افريقيا وشرق البرازيل ، وهى مناطق صحراوية حارة جافة مدارية المناخ فى الوقت الحاضر [1] .

---

(1) Holmes, A . "Principles of physical geology", London, "1959",487-509.



شكل (١٤٥) أجزاء كتلة جندوانا والتوزيع الجغرافى للرواسب الجليدية الكربونية فى مناطق هى مدارية المناخ اليوم وتوضح الأسهم اتجاه الكتل الجليدية القديمة .

د - لاحظ فجنر اختلافا كبيرا بين الحفريات النباتية والحيوانية فى أمريكا الشمالية وأوربا عن تلك فى أجزاء قارة جندوانا فى القسم الجنوبى من الكرة الأرضية . فبينما يتمثل فى أجزاء جندوانا القديمة رواسب جليدية قديمة وحفريات نباتية أشبه بنباتات اللبد النباتى ، تعيش فى مناخ بارد ومنها نباتات جلوسبتريس Glossopteris ، وجانجاموبتريس Gang-mopteris ، يبدو أن الرواسب والحفريات التي عثر عليها فى صخور العصر الكربونى بأمريكا الشمالية وأوربا أنما هى من تلك النباتات والحيوانات التى تعيش فى مناخ حار رطب . وهكذا تبين أن طبقات الفحم

الكربونى فى أمريكا الشمالية وأوربا عبارة عن رواسب غابات ونباتات مستنقعات مدارية رطبة ، كما عثر فجنر على رواسب تربة اللاتيريت ورواسب البوكسيت وهى أدلة على المناخ الحار الرطب . وقد لوحظت هذه الرواسب فيما بعد فى كل من كنتكى Kentucky وأوهايو Ohio بالولايات المتحدة الأمريكية ، وإيرشير Aurshir فى أسكتلندا ، وبحوض موسكو بروسيا ، وفى شبه جزيرة شانتونج بالصين الشعبية .

هـ - لاحظ فجنر أن السواحل الغربية لافريقيا يمكن أن تلتصق بالسواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية بحيث تظهر على شكل منطقة واحدة تعرضت للانقسام قديما ثم تزحزحت أفقيا عن بعضها البعض واحتلت مواقعها الحالية . (شكل ١٤٦) .

ومع ذلك لم يشر فجنر الى العوامل التى ادت الى تزحزح القارات السيالية فى نهاية العصر الكربونى ، وعدم تزحزح القارات الحالية اليوم بنفس الصورة التى حدثت بها فى الماضى . كما ربط فجنر بين اشكال السواحل الشرقية والغربية للمحيط الأطلسى على اعتبار انهما انفصلا عن بعضهما البعض خلال العصر الكربونى ، دون أن يضع فى الاعتبار أشكال الرفارف القارية لهذه السواحل . فمن المعلوم أن السواحل التى ترتبط بقارات اليابس اليوم هى وليدة التغيرات البلايوستوسينية الحديثة ، وليست نتاج التزحزح القارى فى العصر الكربونى الأعلى كما أوضح فجنر . ولكن هذا لا يضعف من شأن النظرية حيث تلتحم الأطراف الشرقية مع الأطرف الغربية للمحيط الأطلسى عند خط عمق ٦٥٠٠م .

٣ - نظرية انسلاخ القمر وانفصاله عن وجه الأرض :

أول من رجح هذه النظرية هو العالم تشارلس داروين فى عام ١٨٧٨م ،واعتقد بأن القمر وهو النجم التابع للأرض انفصل عنها تبعا لتفاعل كل من قوة جذب الشمس للأرض من ناحية وقوة الطرد المركزية الناشئة عن دوران الأرض حول نفسها من ناحية أخرى.وقد اكد هذه الآراء بصورة عامة أصحاب نظرية الشمس التوأمية ، وانشطار الكواكب الشمسية ومن



شكل (١٤٦) التحام السواحل الغربية لافريقيا مع السواحل الشرقية لامريكا الجنوبية وتداخلها مع بعضهما البعض عند خط عمق ٦٥٠٠ قدم .

بينهم H.N. Russell,1925 ، وليتلتون R. A. Lyttleton فى عام ١٩٣٦ ، وروس جن Ross Gunn وبناجى A. C. Baneji واعتقد هؤلاء أنه من المألوف أن يتبع كل من كواكب المجموعة الشمسية أقمار صغيرة تابعة لها ، وقد يكون معظمها منشطرا من هذه الكواكب نفسها . وعلى ذلك فقد انسلخ القمر من الحوض العميق الهائل الحجم فى الكرة الأرضية الذى يشغله اليوم المحيط الهادى (١) . ومن بين الملاحظات التى تؤيد هذه النظرية :

---

(1) Cowen, R. C., "Frontiers of the Sea" , London.1069.

(٢) الحد الذي يفصل بين صخور السيال القارية وصخور السيما المحيطية .

أ- الشكل الدائرى لحوض المحيط الهادى داخل حد الاندسيت [٢] ، والذى يمثل فى نفس الوقت محيط الجزء القمرى الذى كان متصلا بالأرض قبل انفصاله عنها .

ب- إن جميع المحيطات الأخرى على سطح الأرض ، فيما عدا المحيط الهادى تتميز بأن لها قشرة صخرية مركبة من صخور الجرانيت والسيال Sial متعاقبة فوق صخور السيما Sima ، التى تشغل معظم أرضية المحيط الهادى . وإن دل هذا على شىء فإنما يدل على أن قشرة صخور السيال التى كانت تابعة للمحيط الهادى قد انفصلت ابان انسلاخ القمر عن كوكب الأرض .

ومن مؤيدى هذه النظرية كذلك أزموند فيشر Osmond Fisher . ومن نتائج حسابات هذا الباحث لطول نصف قطر القمر ، اكد أن أبعاد المسطحات المائية للمحيط الهادى تتفق كثيرا مع شكل القمر المستدير، وأن القمر يملأ الحيز المائى للمحيط بطبقة صخرية يبلغ سمكها نحو ٦٠ كيلو مترا ، غير أن هذه النظرية قد واجهت عدة اعتراضات من أهمها :

أ- إن سمك الصخور التى تزعم النظرية انتزاعها من موقع المحيط الهادى والتي تبلغ نحو ٩٠ كيلو مترا ، أكبر من سمك القشرة السطحية للقارات (السيال) ، والتى تبلغ أقصى سمك لها نحو ٤٥ كيلو مترا فقط.

ب- إن كثافة المواد المعدنية التى يتركب منها القمر فى الوقت الحاضر أعلى بكثير من كثافة صخور السيال القارية .

ويعتقد أصحاب هذه النظرية أن القمر عند إنسلاخه من الأرض لم ينتزع منها قشرة السيال فقط ، بل جذب معه أيضا بعض صخور من السيما كذلك . وتبعا لحركة دوران القمر ، وقوة كل من الجذب والطرد التى نشأت فيه اختلطت هذه المواد معا ، وترتبت من جديد ، وازدادت كثافتها عما كانت عليه من قبل .

وفيما يختص بكيفية نشأة البحار والمحيطات الأخرى فيعتقد أصحاب هذه النظرية بأنه نتيجة لحدوث انسلاخ قاع المحيط الهادى وانفصال كتلة هائلة السمك من الصخور البازلتية السفلى نشأت حركات تصدع وتشقق

فى الصخور الجرانيتية المجاورة ، وخاصة على الجانب الآخر المواجه لذلك الجانب الذى انسلخ منه القمر . وتبعا لذلك سرعان ما اتسعت جوانب هذه الشقوق بفعل دوران الأرض حول محورها من جهة وحول الشمس من جهة أخرى . وبعد أن تعرضت الأرض لعمليات التبريد التدريجى البطىء ، بدأت تتشكل هذه المقعرات الجرانيتية الكبرى لتكون المسطحات المائية على الوجه الآخر من كوكب الأرض . وتبعا لهذه النظرية فإن الأحواض المحيطية تكونت على سطح كوكب الأرض خلال مراحل تكوين هذا الكوكب نفسه (أى منذ ٥٠٠٠ مليون سنة) ، وليس بعد أن تكونت القشرة الأرضية وتزحزحت القارات فى العصر الكربونى (أى منذ ٣٥٠ مليون سنة) كما أوضح فجنر فى عام ١٩١٤ [1] .

(٤) نظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية : Plate tectonic theory

تسهم نظرية الألواح أو الصفائح الجيولوجية فى تعميق فهم التغيرات التكتونية التى تنتاب باطن الأرض اليوم ، والتوزيع الجغرافى للسلاسل الجبلية ومناطق تركز حدوث الزلازل والبراكين على سطح الأرض . كما ألقت هذه النظرية الضوء على مورفولوجية أرضية البحار والمحيطات وأسباب تكوين الحواجز المحيطية العظمى Submarine ridges والسهول المحيطية Abyssal Plains والخوانق المحيطية العميقة Deep sea trenches .

وترجح هذه النظرية بأن قشرة الأرض (فيما بين عمق ٥٠ حتى ١٥٠ كم) تتألف من القشرة القارية Continental Crust والقشرة المحيطية Oceanic crust وأجزاء من اعالى الكتلة الغطائية للأرض mantle مكونة ما يعرف باسم النطاق الصخرى Lithosphere للأرض . ويقع هذا النطاق الأخير فوق النطاق الساخن شبه اللزج Semiplastic للاثنوسفير Asthenosphere الذى يمتد بدوره من قاعدة النطاق الصخرى للأرض وحتى عمق ٧٠٠كم فيها . وترجح هذه النظرية بأن النطاق الصخرى للأرض القَصِم أو الهش Brittle يتكسر عادة الى الواح أو قطع فسيفسائية صلبه Mosaic of rigid plates تتحرك أفقيا الواحدة بعد الأخرى نحو

سطح الأرض مثل تحرك قطع الثلج فى المياه . ويعمل النطاق الصخرى للأرض على حصر حركة هذه الألواح أفقياً وأسفله . ومن ثم فإن معظم مناطق حدوث النشاط التكتونى والهزات الأرضية وطفوح المواد اللافيه تتركز عند الحد الفاصل بين كل لوح جيولوجى وآخر .

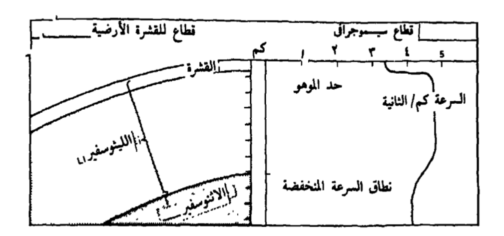
وتختلف نظرية الألواح الجيولوجية عن نظرية التزحزح الرأسى للقارات والتى سبق ان رجحها من قبل كل من كلفن وسولاس ولابوارث ولاف وجريجورى وعن نظرية زحزحة القارات افقيا Continental Drift Theory والتى رجحها من قبل فرنسيس بيكون وانطونيوسنيدر وتايلور والفريد فجنر ذلك لأنها تفسر بصورة علمية كيفية تحرك أجزاء قشرة الأرض افقيا من موقع إلى أخر خلال الفترات الجيولوجية المختلفة وعدم تحركها بنفس المقدار فى الوقت الحاضر وذلك وفقا للخصائص الجيوفيزيقية لمواد باطن الأرض سواء أكانت المنصهرة أو شبه المنصهرة أو المتجمدة تبعا لمدى تفاعل المواد المشعة فيها . (١)

الألواح الجيولوجية فى القشرة الأرضية Crustal Plates:

أ- بنية الألواح الجيولوجية : Plate Structure

يوضح (شكل ١٤٧) قطاعاً سيزمياً مثالياً لجزء من القشرة المحيطية ونظام بناء قشرة الأرض وفقاً للنتائج السيزمية المتاحة . ويمثل حد «الموهو» قاعدة القشرة الأرضية حيث تبدأ عنده سرعة الموجات الزلزالية فى الزيادة التدريجية تبعا لاختراقها مواد «المانتل» الأعلى كثافة . ولكن عند عمق يتراوح بين ٧٠ ـ ٨٠كم من سطح الأرض تنخفض سرعة الموجات الزلزالية ويعزى هذا الانخفاض إلى أن جزءاً من مواد «المانتل» عند هذه الأعماق يكون فى حالة شبه منصهرة . ويطلق على قشرة الأرض والقسم الأعلى الجامد من مواد « المانتل » معاً تعبير الغلاف الصخرى Lithosphereاما القسم الأسفل من مواد « المانتل » شبه المنصهرة فتعرف باسم الأثنوسفير Asthenosphere.

(١) حسن ابو العينين « الألواح الجيولوجية التكتونية » تأليف د.س هيثر وترجمة أ.د حسن ابو العينين – الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٨٨) ص ١ – ٢١٦ .



(شكل ١٤٧) الألواح الجيولوجية فى القشرة لأرضية .

وإذا كان سطح الأرض يتحرك بصورة منفصلة تماماً عن باطن الأرض ، فإن الحد الفاصل بين الغلاف الصخرى الجامد والأثنوسفير شبه المنصهر يعد هو المنطقة المناسبة لحدوث الانفصال بين قشرة الأرض وباطنها . أو بمعنى آخر فإن القشرة الخارجية للأرض فى هذه الحالة تكون مرتبطة بشدة بالقسم الأعلى الجامد من مواد « المانتل » وأنهما معاً يتحركان فوق مواد المانتل شبه المنصهرة .

وقد اقترح الأستاذ « هيس » Hessوبعض الجيولوجيين الأوائل من قبل أن للأرض قشرة خارجية جامدة محدودة السمك ، ومرتبطة ببقية الغلاف الصخرى للأرض (الليثوسفير) . وتتقطع هذه القشرة الأرضية فى بعض الأجزاء مكونة الألواح الجيولوجية الجامدة Rigid Plates. وقد يفسر لنا ذلك أسباب عدم تغيير أو إعادة تشكيل مساحات واسعة تقدر بآلاف الكيلومترات المربعة من القشرة المحيطة ، وأن اجزاء من هوامش القارات لا تزال حتى الآن يمكن أن تتداخل فيما بينها . وعلى ذلك فإن

قشرة الأرض هى عبارة عن القسم الأعلى للألواح الجيولوجية ، وعند تحرك الأخيرة فإنها تحمل معها أجزاء القارات التى تمثل أعالى القشرة الخارجية للأرض .

ويعد سمك القشرة القارية Continental Crust أكبر بكثير منه فى حالة القشرة المحيطية Oceanic Crust للأرض . فبينما يبلغ سمك الأولى نحو ٣٥ كم فإنه يصل فى الثانية إلى نحو ٨,٩كم فقط ، كما أن القشرة القارية أقل كثافة (متوسط كثافتها ٢,٨٥ جرام/سم٣) بينما تبلغ فى القشرة المحيطية نحو ٣ جرام/سم٣) ونتيجة لذلك فإن أجزاء من الألواح الجيولوجية التى تتغطى بالقشرة الأرضية تكون شديدة التماسك وقابلة للطفو بدرجة أكبر من تلك الأجزاء من الألواح الجيولوجية التى تقع فوقها أجزاء من القشرة المحيطية فقط . وبسبب صلابة الألواح الجيولوجية القارية وقدرتها على الطفو فإنها تقاوم فعل الانغماس والانزلاق إلى أسفل فى مواد المانتل . ومن ثم يرى البعض أن العمر الجيولوجى لقشرة الأرض القارية يقدر بنحو ١٠٠٠ مليون سنة وقد يزيد عمرها إلى أكثر من ٤٠٠٠ مليون سنة مضت . أما القشرة المحيطية للأرض المحدودة السمك فإنه يمكن لها أن تنزلق إلى أسفل وتنغمس فى مواد «المانتل» وتنصهر فيها . ومن ثم فإن أقدم صخور القشرة المحيطية لا يعود عمرها أبعد من ٢٠٠ مليون سنة فقط .

ب - حدود الألواح الجيولوجية وأبعادها : Plate Boundaries

تبعا لزيادة السمك النسبى للألواح الجيولوجية فإنها تعد متماسكة وجامدة وتتعرض هوامشها عند تحركها لقوى الضغط الشديدة الذى يؤدى بدوره إلى ثنى التكوينات ورفعها أو إلى تصدعها ، وتحدث عمليات الرفع إذا كانت قوى الضغط محدودة ، أما إذا كانت هذه القوى شديدة فتؤدى إلى حدوث التصدع . وانفصال التكوينات الصخرية على طول أسطح الصدوع (الانكسارات) قد يؤدى إلى حدوث موجات اهتزازية فجائية . ويدل نظام الموجات السيزمية المسجلة على خصائص عمليات انفصال

التكوينات الصخرية على طول اسطح الصدوع الجوفية . ويوضح شكل ١٤٨ كيفية انكسار التكوينات الصخرية وفقاً للاختلافات فى عمليات انضغاط الصخور أو شدها ، وتوضح الأسهم فى هذا الشكل اتجاهات حركة التكوينات على طول أسطح الصدوع ، وأن لكل نوع من هذه الأنواع المختلفة من الصدوع شكله السيزمى الخاص به . ومن ثم فإن تحليل أنماط الموجات السيزمية يسهم فى معرفة أنواع الصدوع التى تحدث فى نطاق الألواح الجيولوجية .

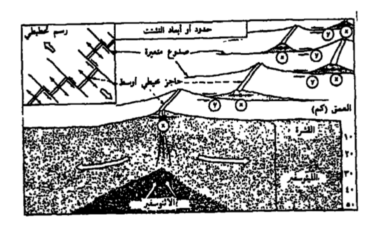
الضغوط	الانزلاق الأفقي	الضغط في اتجاهين متقابلين	الشد في اتجاهين متضادين
أنواع الصدوع	صدوع جانبية عرضية	صدوع عكسية	صدوع عادية
الرموز	او		

شكل ١٤٨ اشكال مختلفة للصدوع .

ويمكن القول أن نظرية «هيس» الخاصة باتساع أرضية المحيطات تعد صحيحة ومقبولة علمياً . ولكن ينبغى أن ندرك بأنه ليست قشرة الأرض فقط هى التى تتعرض للتكسر عند مناطق الحواجز المحيطية الوسطى والخنادق المحيطية الكبرى بل أن كل كتلة الألواح الجيولوجية فى منطقة الليثوسفير تتعرض هى الأخرى لهذه العملية كذلك . ومن ثم فإنه من الضرورى الإشارة إلى نظام بناء الألواح الجيولوجية ومعرفة أبعادها . ويمكن أن نميز ثلاثة أنماط مختلفة من الحركة على طول أسطح الصدوع الجوفية تعرف بصدوع الشد Tension أى شد التكوينات الصخرية فى إتجاهين متضادين ، وصدوع الضغط Compression أو دفع التكوينات الصخرية فى إتجاهين متقابلين ، وصدوع الانزلاقات الأفقية Torsionأى تحرك التكوينات الصخرية على طول أسطح الصدوع تحركاً جانبياً أو أفقياً .

وتبعاً لنظرية اتساع أرضية المحيطات فإنه كان من المتوقع أن نجد صدوع الشد فى مناطق الحواجز المحيطية الوسطى . وكما أظهرت الدراسات السيزمية فإن تكوينات الأثنوسفير تقترب من السطح على طول هذه الحواجز المحيطية الوسطى عنها فى أى منطقة أخرى . وتدعم هذه الملاحظة فكرة أن الحواجز المحيطية الوسطى تتركز مواضعها عند خطوط تعرض الماجما لحركات الدفع من أسفل إلى أعلى ، كما أنها تفسر كذلك أسباب ارتفاع الحرارة الجوفية والعمق المحدود للمراكز الداخلية للزلازل عند منطقة الحواجز المحيطية الوسطى .

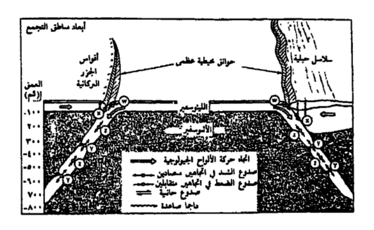
ويلاحظ أن معظم قمم الحواجز المحيطية تتعرض لأخاديد صدعية تعزى نشأتها إلى الصدوع البسيطة . كما تشاهد الصدوع الجانبية على طول أسطح الصدوع التى تقطع الحواجز المحيطية عرضياً . (شكل ١٤٩) . وعلى الرغم من أن الألواح الجيولوجية فى كلتا الحالتين تتباعد عن بعضها البعض عند النقطة (Y) وتحدث فى منطقتين مختلفتين فى الحواجز المحيطية الوسطى فإنه تبعا لعمليات التصدع فإنها تنزلق تحت



(شكل ١٤٩) نموذج للنظم التكتونية للألواح الجيولوجية عند الحواجز المحيطية الوسطى.

بعضها البعض وتتغير معاً ويكونا حركة واحدة مرتبطة الأجزاء ومن ثم يطلق عليها فى هذه الحالة الصدوع المتغيرة Transform Fault .

وإذا تحرك جزءان من الألواح الجيولوجية فى اتجاهين متقابلين فإن أحد الألواح الجيولوجية يقع متراكباً فوق الآخر (شكل ١٥٠) . وقد يتألف من تكوينات القشرة القارية أو تلك المحيطية للأرض . ولكن يغلب على الألواح المتراكبة فوقها أن تكون من نوع القشرة المحيطية . وتسهم الدراسات السيزمية فى معرفة الكثير عن خصائص مناطق تراكب الألواح الجيولوجية عند تقابل بعضها مع البعض الآخر . وعلى الرغم من أن



(شكل ١٥٠) نموذج للنظم التكتونية للألواح الجيولوجية فى منطقة انزلاقاتها فى مواد المانتل

الحركة الرئيسية للصدوع هنا هى من نوع صدوع الضغط (فى اتجاهين متقابلين) إلا أنه يمكن تمييز عدة حركات ثانوية منها :

١ـ عندما تنثنى التكوينات الصخرية أسفل الخوانق المحيطية العظمى تتكون صدوع الشد Tensional Faults (W) فى القسم الأعلى منها .

٢ ـ تتكون صدوع الانزلاقات الجانبية Strike-slip Faults عندما تنزلق التكوينات الصخرية أسفل تكوينات أخرى (X) .

٣ ـ تتكون صدوع الشد (T) عندما تنزلق الألواح الجيولوجية إلى أسفل وتتعرض للتكسر إلى أجزاء مختلفة .

٤ ـ بعض الأجزاء المتكسرة التى انفصلت عن بعضها قد تتعرض

لصدوع الضغط . كما توضح منطقة الاضطرابات السيزمية التى تنتهى عند عمق ٧١٠ كم من السطح بأن الألواح الجيولوجية أسفل هذا العمق تكون منصهرة ومتداخلة أو منغمسة مع مواد « المانتل » .

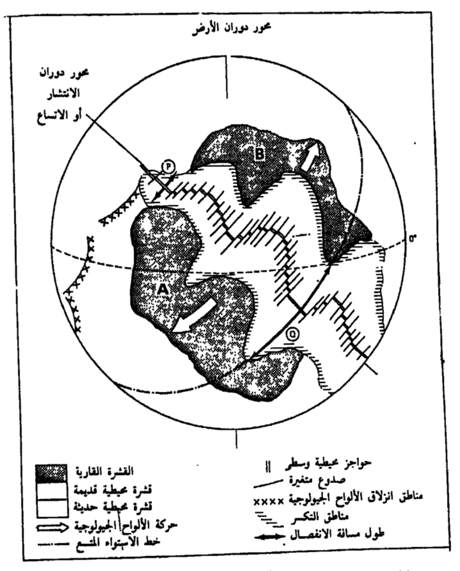
جـ - حركة الألواح الجيولوجية : Plate Movement

يقصد بحركة الألواح الجيولوجية هو انسيابها وانتقالها أسفل القشرة الخارجية للأرض فى اتجاه محيط الكرة الأرضية . وعندما يتحرك لوحان جيولوجيان فى اتجاهين متضادين فإنهما يبتعدان عن بعضهما البعض بالنسبة للخط الفاصل لحركتهما أو ما يعرف باسم محور الحركة أو الدوران Axis of rotation ويوضح شكل ١٥١ انقسام قارة افتراضية الى قسمين هما A ، B وأن الحاجز المحيطى الأوسط هو الذى يمثل خط الانفصال بينهما ويتألف بدوره من أجزاء الحواجز المحيطية والصدوع المتغيرة . ويظهر أن أجزاء الحواجز المحيطية تقع موازية لخطوط تمتد عمودية على محور الحركة . أما الصدوع المتغيرة Transform faults فتقع على خطوط عرض حول هذا المحور أى موازية لحركة دوران الألواح الجيولوجية وعلى ذلك فإن الحركة على طول الصدوع المتغيرة تحتفظ بموضع واتجاهات الحواجز المحيطية . ويظهر كذلك أن مدى اتساع أرضية المحيطات بالقرب من المناطق القطبية (أطراف) لمحور الحركة P ، تكون أبطأ بالنسبة للمناطق الاستوائية Q ويتراوح مدى اتساع أرضية البحار من ٢سم إلى ٦سم فى السنة على كل جانب من جوانب الحواجز المحيطية الوسطى .

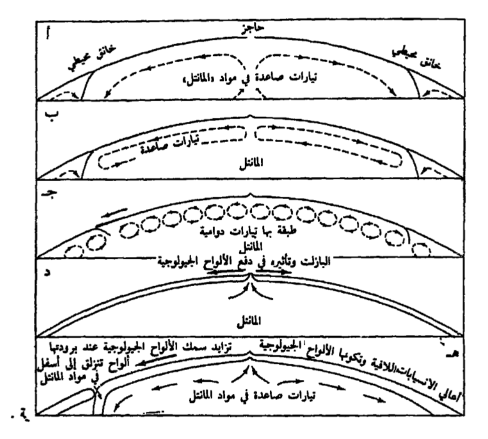
د - ميكانيكية حركة الألواح الجيولوجية : Driving mechanisms

إن القوى المسئولة عن حركة الألواح الجيولوجية أسفل القشرة الخارجية للأرض حول محيط الكرة الأرضية لا تزال غير واضحة تماماً . واقترح العلماء الكثير من الافتراضات لتفسير تلك القوى ومن بين أقدم هذه الافتراضات تلك التى اقترحت بأن قشرة الأرض رفعت ونقلت عن طريق حركة التيارات الصاعدة الحرارية Thermal Current فى مواد المانتل

(شكل ١٥١) ولكن بعد أن عرف العلماء الخصائص التفصيلية لنظام بناء مواد باطن الأرض فقد تبين بأن انسياب مواد باطن الأرض يرتبط بنطاق الأثنوسفير (شكل ١٥٢) . ومعنى ذلك أنه ينبغى أن نفترض بأن نطاق التيارات الحرارية الساخنة كانت أكبر سمكاً بنحو ٢٠٠ مرة عما كان عليه ، ومثل هذه الحالة لا يمكن وجودها بهذه الصورة .



شكل (١٥١) نظام حركة الألواح الجيولوجية بالنسبة للسطح الكروى للأرض .

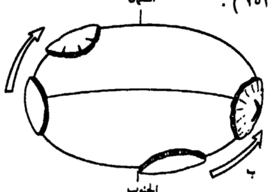


ويوضح (شكل ١٥٢) أن هناك ارتباطاً كبيراً بين كل من الحواجز المحيطية الوسطى والخنادق المحيطية العميقة ومن الصعب اعتبار أن نشأة أى منهما مسئولة عن نظام بسيط فى حركة التيارات الساخنة الصاعدة . ومن ثم اقترح بعض العلماء أن الألواح الجيولوجية هى أجسام طافية تتحرك بمساعدة خلايا التيارات الصاعدة الصغيرة الحجم جداً والتى تنشأ أصلاً فى مواد المانتل على شكل تيارات جوفية دوامية الحركة Geothermal turbulence (شكل ١٥٢جـ) . وقد يؤدى الثقل الناتج عن قارة ما خاصة عند أحد أطرافها إلى تحرك الألواح الجيولوجية . ومع ذلك لا يمكن أن تفسر هذه الافتراضات كل حركة الألواح الجيولوجية أسفل قشرة الأرض.

وتقترح احدى النظريات الأخرى بأنه عندما اندفعت الماجما على طول خطوط امتداد الحواجز المحيطية الوسطى ، امتصت معها بعض المياه ونتج عن ذلك زيادة حجمها مما ادى بها إلى دفع الألواح الجيولوجية إلى الحركة

(شكل ١٥٢د) . ولكن من دراسة نظام بناء الألواح الجيولوجية يتبين أنها تأثرت بعمليات الشد Pulling اكثر من تأثرها بعمليات الدفع Pushing .

وتفترض احدى النظريات الحديثة كذلك بأن الألواح الجيولوجية هى ببساطة عبارة عن الأسطح العلوية للحركات الانسيابية للتيارات الساخنة الصاعدة فى مواد المانتل . وان هذه الحركات لا تحدث عن طريق الخلايا الحرارية البسيطة ولكن وفقاً لنظام إنسيابى معقد من التيارات الساخنة الصاعدة . فعندما ترتفع مواد الأثنوسفير إلى أعلى عند مناطق الحواجز المحيطية الوسطى تتعرض للبرودة والتجمد (كمثل القشرة التى تتكون عند برودة المواد المنصهرة للشمعة) وعند تشتت المواد الانسيابية (إلى الشرق وإلى الغرب من منطقة الحواجز المحيطية الوسطى) تتعرض اعاليها للبرودة ثم إلى التماسك . وكلما بعدت الألواح الجيولوجية عند الحواجز المحيطية الوسطى تصبح اكثر برودة واكبر سمكاً وأعلى كثافة ومن ثم تصبح موادها فى حالة عدم استقرار . وتسترد هذه المواد حالتها المستقرة من جديد عندما تتعرض الألواح الجيولوجية للتكسر أو عندما تنغمس احد أطرافها إلى أسفل وينزلق فى مواد المانتل . وقد ينتج عن ثقل الكتل الهابطة شد الألواح الجيولوجية التى خلفها وسحبها إلى أسفل وينجم عن ذلك نشوء حركة ميكانيكية جديدة فيها وأخيراً قد تكون حركة الألواح ناتجة عن فعل كل هذه العوامل مجتمعة ، ولم يأت الوقت حتى الآن لكى نحدد تماماً وعن يقين القوى الميكانيكية المسئولة فعلاً عن تحرك الألواح الجيولوجية (شكل ١٥٣) .



(شكل ١٥٣) تعرض الألواح الجيولوجية للضغوط والتمزق نتيجة للأغشية التكتونية .

وكما سبقت الاشارة من قبل فإن الألواح الجيولوجية تتميز بتماسكها وصلابتها ، ولكن عندما تتأثر بعمليات قوى الضغط المختلفة Stress فإنها قد تتعرض للتصدع Faulting أو تتغير موادها وتصبح فى حالة لدنة Plasticوقابلة للطى والدفع إلى أعلى Folding (Uplifting) . وتحدث عملية الضغط هذه فى الألواح الجيولوجية بصور مختلفة منها شد فى اتجاهين متضادين Tension أو ضغط أو دفع فى اتجاهين متقابلين Compression أو انزلاق جانبى أفقى Torsion ويمكن أن تحدث حالات الضغط فى الألواح الجيولوجية عند هوامشها وكذلك عندما تتداخل بعض الألواح الجيولوجية فى بعضها الآخر . وعلى ذلك فإن كلا من مناطق هوامش الألواح الجيولوجية وداخلها يتعرضن للتمزق والتغير بأغشية تكتونية-Mem brane Tectonics وإن تركز الحرارة الجوفية محلياً أى فى جزء محدد من الألواح الجيولوجية عند تدفق انتفاخات من مواد « المانتل » فيها قد يؤدى بدوره إلى حدوث انواع مختلفة من أشكال الضغوط .

الألواح الجيولوجية تحت تأثير عمليات الشد
(الألواح الجيولوجية المتفرقة أو المتباعدة)
Plates under Tension (Divergent Plates)

إن الألواح الجيولوجية التى تتغطى بأجزاء من القشرة القارية -Conti nental Crust يمكن لها البقاء لفترة زمنية أطول من تلك التى تتغطى بأجزاء من القشرة الأرضية المحيطية Oceanic Crust . وينتج عن ذلك أن معظم الظواهر الممثلة فى الألواح الجيولوجية والتى ترتبط بعمليات الشد (فى اتجاهين متضادين) يقتصر وجودها على القشرة الأرضية . ويمكن استنباط أسباب حدوث عمليات الشد عند دراسة تأثيرات هذه العمليات ونتائجها . وهناك نظريتان مختلفتان حاولت كل منهما تحديد أسباب عمليات الشد . وتقترح النظرية الأولى بأن عمليات الشد تنتج عن تشتت انسيابات « المانتل » Divergent Mantle Flows فى حين تقترح الثانية بأن عمليات الشد فى الألواح الجيولوجية تعزى إلى الأثر الناتج عن حدوث

إنتفاخات حرارية فى مواد « المانتل » . Mantle Plumes

وتؤكد النظرية الأولى بأنه عند حدوث انسيابات لافية بفعل التيارات الحرارية الصاعدة Convective Flows متفرقة أو مشتتة Divergent (أى تنساب فى اتجاهيين متضادين) فى مواد المانتل ، فإن المواد اللزجة التى تخرج إلى أعلى وتغطى الألواح الجيولوجية تتعرض للتمزق وللإنقسام . أما النظرية الثانية فتنص على أن عمليات الشد فى الألواح هى بفعل تكوين الانتفاخات الساخنة Plumes or Hot Spots فى مواد « المانتل » . وتتكون مثل هذه الانتفاخات نتيجة لارتفاع حرارة مواد المانتل بدرجة أكبر بكثير من المواد الأخرى التى تحيط بها . وينجم عن ذلك حدوث حركات رفع من أسفل إلى أعلى أو تكوين القباب Domes والقشرة العلوية للأرض . وفى عام ١٩٣٩ أكد الأستاذ هانزل كلوس Hans Cloos معملياً بامكانية حدوث عمليات الشد بفعل حركات الرفع من أسفل إلى أعلى فى المواد الصلصالية . ويوضح شكل ١٥٣ نتائج هذه التجربة المعملية حيث تعرض الصلصال هنا لعمليات الرفع وأصبح على شكل قبة تبعاً لتأثره بتيارات حرارية ساخنة صادرة عن فوهة قنينة تحتوى على مياه مرتفعة الحرارة . وعند رفع المواد الصلصالية إلى أعلى تعرضت هذه المواد لعمليات الشد وتكون فيها العديد من الصدوع البسيطة العادية Normal faults والأخاديد الصدعية Rifting . وأكد « كلوس » بعد اجرائه العديد من هذه التجارب المعملية على امكانية تكوين عمليات الشد فى الألواح الجيولوجية ، وحدوث الأخاديد الصدعية العظمى فى القشرة الأرضية بفعل تأثير الانتفاخات الساخنة التى تتكون من مواد « المانتل » .

الألواح الجيولوجية تحت تأثير عمليات الضغط (الألواح الجيولوجية المتجمعة أو المتقابلة)

Plate under Compression

(Convergent Plates)

مظاهر تجمع الألواح الجيولوجية :

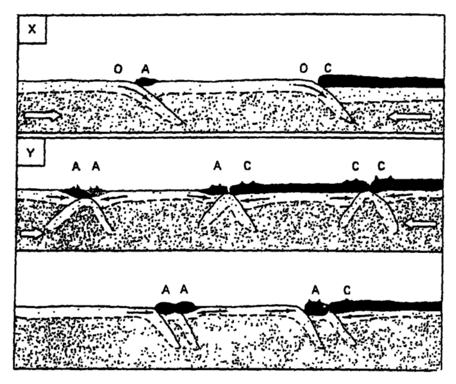
عندما يتحرك الطرفان الأماميان للوحين جيولوجيين فى اتجاهين متضادين (بفعل الشد Tension) ويتباعدان عن بعضهما البعض تحت سطح الأرض (مع اتجاه محيط الأرض) فإن طرفيهما الخلفيين يتحركان فى نفس الوقت كذلك صوب بعضهما البعض أى فى اتجاهين متقابلين ويقتربان من بعضهما البعض على الجانب الآخر من الكرة الأرضية .

وعلى ذلك فإنه عندما كانت قارة أمريكا الشمالية تتباعد عن أوراسيا عبر المحيط الأطلسى ، فإن كلا منهما كانت تقترب من الأخرى عبر المحيط الهادى . أو بمعنى آخر فإن المحيط الأطلسى كان يزداد اتساعاً فى حين كان المحيط الهادى يقل اتساعه بنفس المقدار . ومن هنا ندرك أن أجزاء المحيط هى التى تتعرض للتزايد أو التناقص بخلاف قارات اليابس التى تظل شبه ثابتة المساحة لدرجة كبيرة . ويعزى السبب فى ذلك إلى أن أجزاء الألواح الجيولوجية التى تقع تحت القشرة القارية تعد أقل كثافة وأعلى قدرة على الطفو كما أنها أشد تماسكاً من تلك الألواح الجيولوجية التى تقع فوقها أجزاء من القشرة المحيطة .

وفى المواقع التى يتقابل عندها الألواح الجيولوجية فإنها تتعرض لأنواع من الضغط تحدث في اتجاهات متقابلة Compressions وتتكون ظواهر ناشئة بفعل الضغط وتتنوع بحسب نوع القشرة الأرضية التى تتوج أعالى هذه الألواح الجيولوجية . وتتميز القشرة المحيطية بأنها شبه لدنة Supductable وقابلة للانزلاق والرمى إلى أسفل والانغماس فى مواد « المانتل » .

أمـا القـشـرة الـقـارية وكـذلك بـقـاياهـا التى تقع تحت أقـواس الجـزر البـركـانية فـتـعـد أكثر تماسكاً . ولذلك عندما تتعـرض القـشرة المحـيطية للتزحـزح وتتقابل وجهاً لوجه فى منطقة ما ، فـإن أجزاء منها قد تـتعرض للرمى إلى أسـفل ثم للانزلاق والانغـمـاس فى مواد « المانتل » وتتكون هنا ظواهر تركيبية النشأة تحت تأثير فعل الضـغط فى اتجاهين متقابلين .

أمـا إذا لم يتعـرض اللوحان الجـيولوجـيان أو احدهمـا لعمليـة الانزلاق والانغماس فى مواد « المانتل » فربما يحدث تصادم بينهما . Collision كما قـد تتكون ظواهـر تركـيـبـيـة الـنشـأة ناتجة عن فـعل انضـغـاط الألواح الجـيـولوجـية . ولـكن عندمـا تتـشـابك أطراف لوحـين جـيـولوجـيين عند تحركهما وجهاً لوجه فإن منطقة التقابل أو الـتـجمع Convergence تتمثل عند منطقـة التشـابك هذه . ومن ثم فـإن حركة الألـواح الجـيـولوجـيـة حـول مــحــور الدوران تـكون فى حــالة الـسكون أو تـتـعــرض أجــزاء الألـواح الجـيولوجيـة هنا لعـملية الانزلاق والانـغـمـاس فى مـواد المانتل (فى بعض الأحيان تستمر حركة الألـواح الجيـولوجية ولكن ربما تتخذ لها اتجاه ومدار جديدين) . ويـوضح شكل ١٥٤ سبعة مظاهـر محـتملة النشـوء فى مناطق تجمع الألـواح الجـيـولوجـيـة . ويتـبين من هذا الشكل أن الحـالتين فى شكل ١٥٤(X) ناشـئتان عن هبوط الألـواح الجـيـولوجـيـة وانغـمـاسـهـا فى مـواد المانتل عـند منطقـة التـجـمع الانزلاقى Subductive Convergence أما الحــالات الخـمـس الأخــرى فى شـكـل ١٥٤ (Y) فـتظهـر حـالات الألـواح الجيـولوجية عند عـملية تصادمـها Collision Configurations حـيث إن حـواف الالواح الجيـولوجـية الطـافـية تصـادمت فيـمـا بينها عـندمـا تقـابلت وجهاً لوجه وتوقفت عملية هبوطهـا إلى أسفل وانغماسها فى مواد المانتل . وترتبـط كل هذه الحـالات المخـتلفـة الـتى تتـقـابل عندهـا حـواف الألـواح الجيولوجية بتكوين الظاهـرات التركيبية التكتونية الناتجة عن فعل الضـغط . وتعد أهم هـذه الظاهـرات الأخـيرة هى تلك الناتجـة عن عملية بناء الجـبال Orgenesis or Mountain Building.



(شكل ١٥٤) مظاهر منطقة التجمع :

X = التجمع الانزلاقى للألواح الجيولوجية

Y = التجمع التصادمى للألواح الجيولوجية

O = الألواح الجيولوجية المحيطية

C = الألواح الجيولوجية القارية

A = أقواس الجزر المحيطة

وتعزى نشوء هذه العملية إلى تجمع الرواسب الهائلة الحجم فى الثنيات الحوضية المقعرة العظمى فى قشرة الأرض Geosynclines ثم تعرضها للضغط فى اتجاهين متقابلين ولعمليات الطى والتصدع . وتكون هذه العمليات السلاسل الجبلية الكبرى كمثل سلاسل الأنديز والألب والهيملايا . وكما سيتضح فيما بعد فإن عمليات بناء الجبال يمكن أن تحدث تحت عدة ظروف متنوعة من حالات الضغط ، وينتج عن ذلك تنوع فى فى أشكال السلاسل الجبلية نفسها .

تكوين القارات وتطور نموها : The Growth of continents

هناك رأيان مختلفان حول كيفية نشوء صخور السيال Sial أو بمعنى أخر القشرة القارية على سطح الأرض فى ضوء نظرية الألواح (الصفائح) الجيولوجية هما :-

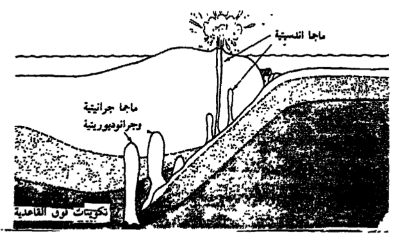
i- ربما تكونت صخور السيال كيميائياً عند بداية ميلاد الأرض ثم تعرضت لتأثير القوى التكتونية (الداخلية) وتشكلت بصورة مستمرة .

ii- ربما تكونت صخور السيال بصورة متواصلة عند حواف الألواح الجيولوجية المتقابلة ، ومن ثم فإن هذه القارات تواصل نموها عبر الأزمنة الجيولوجية .

وقد أكدت الأدلة العملية الحديثة المعتمدة على نتائج التحليل الاشعاعى لنسبة الأسترنتيوم ٨٧ Strontium إلى الأسترنتيوم ٨٦ فى صخور القشرة الأرضية مفهوم الرأى الثانى ، الذى يقترح تكوين صخور السيال عند حواف الألواح الجيولوجية المتقابلة .

ويوضح (شكل ١٥٥) القوى المقترحة لكيفية نشوء القشرة الأرضية . فعند انزلاق اللوح الجيولوجى إلى أسفل وانغماره فى مواد « المانتل » يتعرض للانصهار من جديد Remelt وأول من يتعرض من المعادن للانصار هى تلك التى تتميز بحاجتها لكى تنصهر إلى أقل درجة انصهار Lowest Melting Pointوتقل نقطة أو درجة الانصهار وفقاً لمدى وفرة المياه فى التكوينات التى تعرضت للانزلاق والهبوط فى مواد المانتل . والمعادن التى تنصهر فى البداية هى تلك التى تتميز كذلك بقلة كثافتها . وحيث إن الشرائح المنزلقة تتعوض فى هذه الحالة للانصهار جزئياً ، فإن المعادن المنصهرة الأقل كثافة تتسرب إلى أعلى المعادن غير المنصهرة الأعلى كثافة ، وقد تنفصل عنها وتكون كتل من اللافا المندفعة الخفيفة الكثافة Diapirs of Magma .

أما بقية اللافا (وتكون فى هذه الحالة أعلى كثافة) فتنساب إلى أسفل وتتميز اللافا فى هذه الحالة بأنها من النوع فوق القاعدى Ultrabasic ويطلق على عملية الانصهار الأخيرة هذه تعبيرتفاوت أو تباين الانصهار

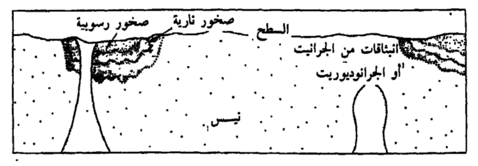


(شكل ١٥٥) تباين الانصهار الجزئى

الجزئى Fractional Melting Differentiation . أما كتل الماجما الأقل كثافة والتى انصهرت فى البداية فتستمر فى الصعود إلى أعلى وتجد لنفسها مكاناً فى الألواح الجيولوجية المتراكبة Overriding Plates. وعندما تبرد الماجما تصبح جزءاً لا يتجزأ من تكوينات القارات وتزيد من حجمها . ووفقاً لهذه العملية فإن القشرة الأرضية تتكون فوق أعالى انزلاق الألواح الجيولوجية وانغماسها فى مواد المانتل .

ب- الدروع أو الكتل الأركية : Archean Shield

تتميز صخور الدروع الأركية بتكوينها فى نطاقات مقوسة أو حلزونية النظام ولا تحدث فى نطاقات طولية الامتداد ، كما تحدث فى تركيب جيولوجى مميز ويتألف أساساً من كتل الصخور الخضراء -Green stonesتنحصر بين مساحات واسعة من النيسGneiss الذى يتداخل فيه تكوينات الجرانيت Granites والجرانوديوريت Granodiorites(شكل ١٥٦)



(شكل ١٥٦) نظام بناء الكتل أو الدروع الأركية القديمة .

وتتضمن هذه التكوينات الصخرية الأخيرة علامات تدل بارتباطها بقباب الباثوليت المتداخلة Batholithic Intrusion والتى تقع فوق مناطق انزلاق الألواح الجيولوجية عند هوامش القارات . أما كتل أو أحزمة الصخور الخضراء فتتألف هى الأخرى من تكوينات ارسابية وبركانية تعرضت لعمليات التحول . وتقع مجموعة التكوينات النارية بين صخور الأندسيت المتمثلة فى الأقواس الجزرية القارية ، وتكوينات اللافا الثيوليتية المكونة للحواجز المحيطية الوسطى . ومن ثم اقترح البعض أن الصخور الخضراء تمثل بقايا من أرضيات الأحواض البحرية الهامشية ، أو ما يسمى كذلك باسم أحواض أقواس الجزر المتراجعة Retro-Arc Basins .وتندفع الماجما الثيوليتية Tholeitic Magma عبر الشقوق فى أرضيات الأحواض البحرية فى حين تنبثق اللافا الاندسيتية Andesitic lavas من البراكين المتمثلة فى أقواس الجزر القارية . ويوضح (شكل ١٥٧) الاقتراح الذى يفسر كيفية نشوء تكوينات النيس والصخور الخضراء الأركية على عدة مراحل تتمثل فيما يلى :

a- يتكون فى البداية حوض بحرى تتجمع الرواسب وفرشات اللافا فوق أرضيته .

b- تتعرض الرواسب لعمليات الطى والرفع تبعاً لتعرضها لاضطرابات تكتونية تحت تأثير اندفاعات الجرانيت والجرانوديوريت .

c-ت كوين قوس جزرى وحوض بحرى جديدين .

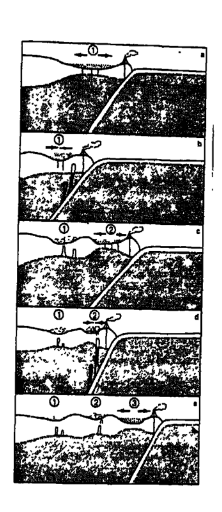
d- انضغاط الرواسب تحت تأثير اندفاعات الماجما .

e- تكوين قوس جزرى وحوض بحرى ثالث ، ثم تعاد الدورة من جديد وينتج عن ذلك تكوين تركيب جيولوجى يماثل بدرجة كبيرة خصائص التركيب الجيولوجى للأراضى الأركية . وقد تكون هذه العملية هى المسئولة عن تكوين أقدم أجزاء القشرة القارية للأرض .

جـ- توالى الزيادة فى نمو المناطق البنائية التكتونية :
Accretion of Orogenic Provinces

تميل مناطق الكتل الأركية التى يقل عمر صخورها عن ٢٠٠٠ مليون سنة إلى الوقوع عند حواف مناطق الكتل الأركية الأقدم عمراً . ويشبه هذا التركيب الجيولوجى ذلك الذى يظهر فى السلاسل الجبلية حين تظهر تكويناتها الصخرية إلى أعلى فوق جذور الجبال وتحاط هذه السلاسل الجبلية بتكوينات الكتل أو الدروع الأركية الأقدم عمراً . ويطلق على مثل هذه التراكيب الجيولوجية « مناطق بنائية تكتونية » (جوفية) Orogenic Provinces .

ويمكن تفسير نمو القارات على أنه عملية نمو متواصلة . فقد تكونت الدروع أو الكتل الأركية الهامشية وللسلاسل الجبلية والتى أضيفت إلى هوامش الكتل القارية بفعل الانضغاط خلال فترات متتابعة .وينجم عن تكرار حدوث هذه العملية النمو التعاقبىEpisodic Growth أو العرضى للقارات (أى نموها على مراحل زمنية متعاقبة) كما يتضح فى شكل (١٥٨) . ويحدث ذلك نتيجة لتتابع حدوث فترات الإرساب Deposition وأخرى للبناء التكتونى Orogenesisعندما تتعرض هوامش القارات لتأثير عمليات الشد Tension (فى اتجاهين متضادين) والضغط أو الانضغاط Compression (فى اتجاهين متقابلين). وهكذا تندمج الثنيات المقعرة الحوضية العظمى (فى قشرة الأرض) Geosynclines مع هوامش الألواح الجيولوجية . وتتغطى أرضيات الثنيات المقعرة الحوضية العظمى بالرواسب القارية والمحيطية على السواء ، ثم تتعرض أرضيتها لعمليات متنوعة منها تباين الانصهار الجزئى للمواد اللافية وأثر ذلك فى دفع بعض المواد إلى أعلى ورمى بعضها الآخر إلى أسفل فى مناطق انزلاق الألواح الجيولوجية وانغماسها فى مواد « المانتل » . وتندفع أجزاء من أرضية الثنيات الحوضية العظمى إلى أعلى لتكون تكوينات جديدة تضاف إلى القشرة القارية . ومن ثم فإنه يمكن تفسير نشأة التركيب الجيولوجى

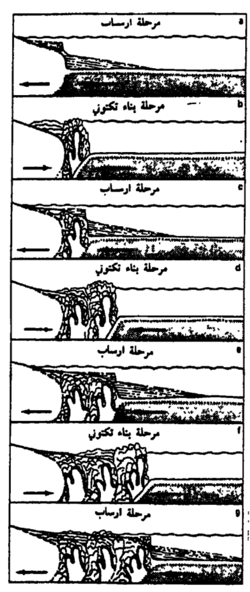


(شكل ١٥٧) تكوين الكتل الأركية القديمة فى حالة تصادم أقواس الجزر المحيطية والأحواض المحيطية المتراجعة .

لأقدم أجزاء القشرة الأرضية ، وفقاً للنظم التكتونية التى تعرضت لها هذه الألواح الجيولوجية . وتتألف معظم الدروع القارية القديمة من كتل أركية فى الوسط ويحيط بها تكوينات صخرية أصغر عمراً وقد تتغطى هذه التكوينات الأخيرة بأخرى حديثة العمر الجيولوجى .

أما أحزمة التكوينات الجيولوجية الحديثة العمر الجيولوجى والممثلة فى نطاق الكتل الأركية القديمة فى الوسط فيبدو أنها كانت عبارة عن

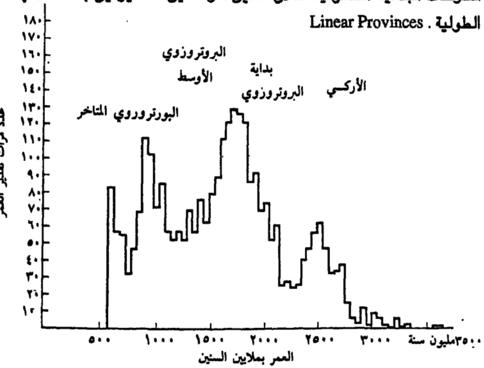
تكوينات انحبست فيما بين نطاقات الكتل الأركية القديمة . ومن ثم يمكن أن تتكون كتل أو دروع قديمة عندما تتصادم مع كتل أركية أصغر حجماً . وقد وجد الباحثون بقايا من صخور أرضيات المحيط (صخور السيما) داخل تكوينات سلاسل الكورديلليرا مما يؤكد حدوث عملية التصادم القارى .



(شكل ١٥٨) تطور النمو البنائى للقارات تبعاً لتزايد نمو النطاقات البنائية للجبال .

د- تحرك القارات ونموها : Continal Movement and Growth

يوضح شكل (١٥٩) منحنى التوزيع التكرارى لتقدير عمر صخور القاعدة التابعة لمرحلة ما قبل الكمبرى ، ومنه يظهر أن عملية بناء القارات هى عملية تحدث على مراحل متعاقبة . وتوضح القمم العليا فى المنحنى مراحل التكوين أو البناء القارى Phases of formationوعلى ذلك فإن أقدم مرحلة بناء للقارات حدثت منذ نحو ٣٨٠٠ إلى ٣٥٠٠ مليون سنه مضت ، وأدت إلى تكوين أقل من ١٠٪ من مساحة قشرة الأرض الحالية . ويرجع العلماء بأن نحو ٦٠٪ من حجم قشرة الأرض تم تكوينها خلال مرحلة البناء القارى الثانية خلال الفترة من ٢٩٠٠ إلى ٢٦٠٠ مليون سنة مضت . وتتركب كل أجزاء القشرة القارية التى تكونت خلال هاتين المرحلتين من الصخور الأركية . ثم تعرضت القشرة الأرضية بعد ذلك لعمليات بنائية تكتونية متلاحقة خاصة خلال الفترة من ١٩٠٠ إلى ١٧٠٠ مليون سنة مضت والفترة من ١١٠٠ إلى ٩٠٠ مليون سنة مضت ، وتميزت مناطق الحركات البنائية التكتونية خلال هاتين المرحلتين الأخيرتين بامتداداتها الطولية . Linear Provinces



(شكل ١٥٩) التوزيع التكرارى للعمر الزمنى لكتل ما قبل الكمبرى .

ومن الحركات التكتونية التي أثرت في بناء القارات هي تلك التي حدثت منذ نحو ٦٠٠ مليون سنة مضت ولكنها لا تظهر على منحنى التوزيع التكراري لمرحلة ما قبل الكمبري . وفيما بعد هذه المرحلة البنائية الأخيرة تمكن العلماء من تسجيل حدوث عدة مراحل بنائية للجبال والقارات بصورة دقيقة عن تلك التي حدثت في مرحلة ما قبل الكمبري . وقد ربط العلماء حدوث هذه الحركات البنائية للقارات خلال مرحلة الحياة Phanerozoic بما حدث للقارات من عمليات الزحزحة والتصادم . ووفقاً لتحديد اتجاهات القطبين الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية واختلاف مواقعهما أمكن تحديد أبعاد القارات القديمة وأشكالها ومواقعها ، وذلك عن طريق دراسة عينات الصخور الممغنطة قديماً ، وتحديد أعمارها وعلاقتها باتجاهات الحقل المغناطيسي للأرض في الوقت الحاضر .

ولما كانت معظم التكوينات الارسابية فوق صخور القارات التابعة لمرحلة الحياة تقل عمرها الجيولوجي عن فترة ما قبل الكمبري فقد ساعد ذلك على سهولة تقدير عمرها النسبي . كما نجح العلماء في تفسير ما تعرضت له القارات من زحزحة أفقية (منذ نحو ٢٠٠ مليون سنة) تفسيراً دقيقاً تبعاً لدراسة الانحرافات المغناطيسية لصخور أرضية المحيطات وعلاقتها بمواقع القطبين المغناطيسيين الحاليين (١).

---

(١) حسن أبو العينين ، لألواح الجيولوجية ونظمها لتكتونية ، كتاب مترجم – الجمعية الجغرافية لكويتية – (١٩٨٨) ص ١ – ٢١٦ .

الفصل العاشر

الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

تتألف قشرة الأرض اليوم من نطاقات صخرية مختلة تتنوع فيما بينها تبعاً لمدى تأثرها بالحركات التكتونية . فهناك أجزاء واسعة من قشرة الأرض تتألف من كتل صخرية قديمة العمر الجيولوجي يرجع معظمها إلى فترة ما قبل الكمبرى، ويتألف القليل من أجزائها من صخور أعالى الزمن الجيولوجي الأول. ومن ثم فإن هذه الكتل الصخرية الصلبة تبدو مستقرة جيولوجياً ، ولم تتعرض لحدوث الالتواءات الألبية الميوسينية الكبرى Alpine Orogenesis . ومن النادر أن تتعرض بعض أجزاء تلك الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية حديثة بحيث يتكون فيها سلاسل جبلية رئيسية ، ويعزى ذلك إلى شدة صلابة صخورها من جهة ، وقلة سمك الفرشات الإرسابية المتجمعة فوق بعض أجزائها من جهة أخرى . وإذا تعرضت بعض أجزاء هذه الكتل الصخرية القديمة لحركات تكتونية ما ، فينجم عن ذلك تأثرها بحركات صدعية ، ومن ثم تتزحزح بعض صخورها أفقياً أو رأسياً وتتكون فيها مناطق الصدوع fault zones وتتأثر بنماذج مختلفة من الصدوع المركبة والأحواض الصدعية الهابطة Grabens والهضاب الصدعية البارزة Horsts، والأخاديد الصدعية الكبرى كالأخدود الأفريقى العظيم. ويطلق على هذه النطاقات الصخرية من قشرة الأرض أسماء مختلفة ومن أكثرها شيوعاً تعبير الكتل القارية القديمة Ancient Land Masses ويقصد بذلك أجزاء القارات القديمة العمر الجيولوجي والشديدة الصلابة Highly Rigid ، و الكتل القارية المستقرة Stable Land Masses حيث أنها تعد أكثر أجزاء القارات استقراراً من الناحية الجيولوجية . ويطلق بعض الجيولوجيين على مثل هذه النطاقات القارية تعبير الكتل القارية الدرعية الهضبية القديمة Ancient Shields ، ذلك لأنها نطاقات قارية قديمة العمر الجيولوجي من ناحية، وأ نها جميعاً تبدو على

شكل سهول واسعة الامتداد ذات أسطح محدبة فى القسم الأوسط منها Gently Convex Profiles ، وتنحدر انحداراً تدريجياً بسيطاً نحو الأطراف من ناحية أخرى.

وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية أن الكتل القارية القديمة قد اتصلت بعضها بالبعض الآخر عن طريق مناطق تلاحم جيولوجية تمثل فى نفس الوقت مناطق ضعف جيولوجية . ومن ثم أكد الجيولوجيون بأن تلك المناطق الأخيرة كانت فى بداية نشأتها عباة عن أحواض بحرية تكتونية Geosynclines تجمعت الرواسب الهائلة الحجم فوق قاعها خلال أزمنة جيولوجية طويلة متعاقبة، ثم تعرضت هذه الرواسب لعمليات الرفع التكتونية وظهرت فوق سطح الأرض على شكل جبال وسلاسل جبلية ربطت الكتل القارية القديمة جيولوجياً بعضها بالبعض الآخر. وحيث تكونت هذه النطاقات الضعيفة جيولوجياً بفعل الحركات التكتونية الألبية الميوسينية، فإنها تعد مناطق حديثة غير مستقرة جيولوجياً ، ولا تزال تتعرض أجزائها المختلفة فى الوقت الحاضر لحركات تكتونية متنوعة وتمثل أهم نطاقات حدوث الزلازل والبراكين.

أولاً- الكتل القارية المستقرة جيولوجياً

تمثل الكتل القارية المستقرة المناطق القديمة العمر جيولوجياً، ومن ثم بقايا اليابس الأولى القديم Primitive Lands لقشرة الأرض . وقد كانت تلك الكتل - المنتشرة حالياً فى مناطق مبعثرة فى القارات الحالية فوق سطح الأرض - أكثر اندماجاً وارتباطاً مع بعضها البعض بل وكانت تكون كتل واسعة الامتداد فى القارات القديمة العمر الجيولوجى. فقد اعتقد فجنر A Wegener بأن يابس قشرة الأرض كان متجمعاً فى كتلة واحدة كبرى أطلق عليها اسم كتلة بنجايا Pangaea وكان يمتد فى أواسطها بحر جيولوجى قديم ، أطلق عليه اسم بحر تثس Tethys. أما الباحث الأمريكى تاليور Taylor F B فقد أوضح بأن أجزاء واسعة من قارات أمريكا الشمالية وأوربا وأسيا كانت ملتحمة مع بعضها فى كتلة قارية قديمة أطلق عليها

اسم كتلة لوراسيا Laursia.

وقد اجمعت الدراسات الجيولوجية على أن يابس القسم الشمالى من العالم القديم (قبل العصر الكربونى) كان يتألف من قارتين،إحداهما كانت تقع فى الغرب وأطلق عليها اسم كتلة أركتس Arctics والأخرى كانت تقع فى الشرق وأطلق عليها اسم كتلة أنجارا Angara . أما يابس القسم الجنوبى من الكرة الأرضية فكان يتألف قديماً من كتلة قارية أطلق عليها كتلة جندوانا Gondwana وقد اظهرت نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة ، على أن هذه الكتل القارية الكبيرة القديمة تعرضت للانقسام والزحزحة الأفقية منذ بداية العصر الكربونى تقريباً ، وأخذ بعضها يتباعد عن البعض الآخر. وفى مواقعها الجديدة التى استقرت عندها تلك الكتل، وبعد أن توقفت عمليات زحزحتها وأخذت تنمو بالتدريج نتيجة لإضافة أجزاء جديدة من اليابس إلى أطرافهاوهوامشها. وهكذا كانت ولا تزال تعد أجزاء تلك الكتل القارية القديمة النواة التى نمت وتنمو عليها كل من القارات الحديثة التى تظهر اليوم فوق سطح الأرض.

ومن دراسة التوزيع الجغرافى للكتل القارية القديمة يتبين أنها ممثلة فى قارة أوربا حيث تظهر هنا كتلة فينو ـ سكانديا Fenno- Scandia (الكتلة الفنلندية ـ البلطية) وكتلة الرصيف الروسى. وفى قارة آسيا تمتد كتلة سيبريافى القسمين الشمالى الشرقى والشمالى منها ، وكتلة الصين



شكل (١٦٠) التوزع الجغرافى للكتل القارية القديمة المستقرة.

فى القسم الشرقى، وكتلة الدكن فى القسم الجنوبى من آسيا . هذا وتمتد كتلة غرب استراليا فى قارة استراليا، وكتلة جنوب أفريقيا فى قارة افريقيا ،وكتلة شرق البرازيل وكتلة جيانا فى قارة أمريكا الجنوبية،وكتلة لورنشيا (الكتلة الكندية) فى قارة أمريكا الشمالية (شكل ١٦٠)

وليس من الحكمة فى دراستنا هذه أن نقوم بعرض دراسة وصفية تفصيلية لجميع الكتل القارية، أو لكل منها على حدة، ذلك لأن جميع هذه الكتل القارية المستقرة تتشابه جيولوجياً وتشترك مع بعضها البعض فى كثير من الخواص الجيولوجية ، أو بمعنى أخر تكاد كل كتلة قارية منها تضم نفس الخصائص الجيولوجية التى يمكن أن تلاحظ فى غيرها من الكتل القارية الأخرى. ومن ثم يحسن فى هذا المجال بدلاً من القيام بالدراسة الوصفية لكل كتلة قارية على حدة أن نوضح الخصائص الجيولوجية التى تخص جميع الكتل القارية وتميزها عن غيرها من النطاقات الجيولوجية الأخرى فوق سطح الأرض. وهذا لا يمنع أيضاً من أن نقوم بعرض للتطور الجيولوجى والخصائص العامة لأحدى هذه الكتل - ولتكن الكتلة اللورنشية - كنموذج تطبيقى دراسى لبقية الكتل القارية الأخرى. وتتلخص الخصائص المشتركة العامة للكتل القارية فى النقاط التالية:

١- التركيب الصخرى:

تتألف الكتل القارية المستقرة من صخور قديمة العمر الجيولوجى يرجع أغلب مجموعاتها إلى عصر ما قبل الكمبرى Pre-Cambrian وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة بأنه كلما كانت تلك الصخور أقدم عمراً جيولوجياً ، فإنها تصبح أشد صلابه وتماسكاً عن غيرها من مجموعات الصخور الأخرى. كما تبين كذلك بأن الصخور الرسوبية فى تلك الكتل القديمة نتيجة لطول عمرها الجيولوجى وتعرضها لعمليات الضغط الشديدة بفعل الرواسب الأحدث عمراً والتى تراكمت فوقها خلال بعض الفترات الجيولوجية، ولتداخل مصهورات نارية فيها ، تعرضت بشدة لعمليات التحول الصخرى وأصبحت صخوراً متحوله.

وتشتمل الكتل القارية المستقرة جيولوجياً على مجموعات متنوعة من صخور ما قبل الكمبرى ومن بين أكثر انواع الصخور شيوعاً فى الكتل القارية صخر النيس. وهذا الصخر الأخير يتحول عن كل من الصخور النارية والصخور الرسوبية، ويتداخل صخر الجرانيت فى صخور ما قبل الكمبرى القديمة على شكل عروق وسدود نارية. ومن بين أظهر الصخور الرسوبية فى تكوينات الكتل القارية المستقرة صخور رملية خشنة الحبيبات تعرف باسم الجراى واكىGray-Wacke . هذا إلى جانب صخور مختلفة أخرى منها صخور المجمعات (الكونجلومرات)-Conglom-eratesوالكوارتزيت ، والاردواز، والفيليت، والشيست (١).

وفى القسم الأسفل من عصر ما قبل الكمبرى نلاحظ مجموعة أخرى من الصخور تأثرت بعمليات تحول بدرجات أقل من بعض الصخور السالفة الذكر، ومن بين هذه الجموعة من الصخور، الحجر الرملى الصلب، والدولوميت، والحجر الجيرى الصلب، والصلصال.

٢- قدم العمر الجيولوجى:

من بين أهم الصخائص الجيولوجية المميزة لجميع الكتل القارية المستقرة فوق سطح الأرض أنها قديمة العمر الجيولوجى، وأن معظم صخورها كما اتضح من قبل ترجع إلى فترة ما قبل الكمبرى. ويقدر الجيولوجيون الغمر الجيولوجى النسبى لصخور فترة ما قبل الكمبرى بدراسة تأثير فعل العناصر المشعة Radio active elements مثل اليورانيوم والثوريوم والرابيديوم والبوتاسيوم فى الصخور القديمة ومن نتائج هذه الدراسات تبين أن أقدم صخور ما قبل الكمبرى بالكتل القارية القديمة فى جنوب أفريقيا يرجع عمرها إلى نحو ٣٣٠٠ مليون سنة ، وفى الكتلة اللورنشية إلى نحو ٢٤٠٠ مليون سنة ، وفى الكتلة البلطية إلى نحو ٣٥٠٠ مليون سنة، وفى كتلة غرب استراليا إلى نحو ٣٠٠٠مليون سنة . (شكل ١٦١).

---

(1) Stokes. L,and Judson, So, (Introduction to Geology) N.J. (1968) 268- 275



شكل (١٦١) الصخور النارية والمتحولة القديمة لكتلة غرب استراليا ـ لاحظ تكوين الجذور الجبلية النارية القديمة.

٣ـ الجذور النارية القديمة:

من دراسة التركيب الجيولوجى للكتل القارية المستقرة جيولوجياً يتضح أن هناك بعض نطاقات من صخور الجرانيت مبعثرة فى مناطق متفرقة وخاصة بالقسم الأوسط من الكتل القاريه . وتبدو صخور الجرانيت شديدة التأثر بفعل عوامل التعرية التى نجحت فى تسوية الكتل الجرانيتية وإزالة الكثير من تكويناتها. وأكد الباحثون بأن معظم تكوينات الجرانيت فى الكتل القارية المستقرة تمثل فى الواقع جذوراً نارية قديمة Ancient Igneous Roots لمرتفعات وسلاسل قديمة العمر الجيولوجى. وقد استطاعت عوامل التعرية إزالة الكثير من تكوينات هذه الجذور الجبلية خلال الأزمنة الجيولوجية الطويلة.

وأكد الأستاذ والتون مات Walton Matt فى عام ١٩٥٩(١) ، بأن صخور الجرانيت فى كتل ما قبل الكمبرى المستقرة جيولوجياً لم تتكون على أعماق بعيدة فى باطن الأرض ـ كما هو معروف عامة عن صخر الجرانيت ـ ولكنها ربما تكونت نتيجة لتعرض صخور متحولة لعمليات تحول شديدة أكثر من مرة. وهكذا ظهرت حديثاً مشكلة جديدة فى الدراسة

الجيولوجية تعرف بمشكلة نشأة الجرانيت The Granite Problem

وقد أوضح والتون مات ملاحظة أخرى، وهى أن صخور الجرانيت التى تمثل جذور المرتفعات القديمة فى الكتل القارية توجد غالباً فى أواسط تلك الكتل ولا تتمثل عند أطرافها، وإن دل هذا على شئ فإنما يدل فى رأيه على أن تلك النطاقات الجرانيتية الجذرية هى عبارة عن قلب الكتل القارية القديمة Heartlands. أما التكوينات الجرانيتية الممثلة عند هوامش الكتل القارية فتعزى نشأة الكثير منها إلى تداخل المصهورات النارية فى صخور الكتل القارية خلال أزمنة جيولوجية مختلفة.

ومن ثم أوضح « مات » بأن الكتل القارية القديمة المستقرة كانت تتألف عند بداية تكوين قشرة الأرض ، ونشأة اليابس من صخور نارية تتمثل فى صخور باطن الأرض التى تعرضت لعمليات البرودة التدريجية . وبفعل عوامل التعرية والتجوية الشديدة خلال فترة ما قبل الكمبرى ، تعرضت الصخور للتفتيت والتحلل وتجمعت المفتتات والرواسب وتكونت الصخور الرسوبية حول الكتل النارية القديمة . واستمرت هذه الصخور الأخيرة تتجزأ وتتفتت بفعل عوامل التعرية حتى لم يتبق منها فى الوقت الحاضر سوى بقايا متناثرة تدل على أنها كانت جذوراً لسلاسل جبلية نارية قديمة. أما الصخورالرسوبية الحطامية القديمة حول تلك التكوينات النارية فقد تعرضت بدورها لعمليات التحول الصخرى، وأصبحت شديدة الصلابة وتمثل نسبة كبيرة من جملة تكوينات الكتل القارية المستقرة القديمة.

٤- الكتل القارية القديمة نواة للقارات الحديثة:

إذا كانت الجذور النارية هى قلب الكتل القارية، فإن الأخيرة تعد بدورها النواة الرئيسية Nuclei or Cores التى نمت حولها كل من قارات العالم المختلفة. ومن ثم نلاحظ عند دراسة مراحل نمو القارات المختلفة بأن كلامنها مركب من نطاقات صخرية حديثة العمر الجيولوجى، تحيط بالكتل القارية القديمة جيولوجياً . فقد نمت قارة أمريكا الشمالية حول

نواتها القديمة الممثلة فى الكتلة اللورنشية، فى حين ازداد اتساع قارة أمريكا الجنوبية بعد إضافة مساحات جديدة من اليابس الحديث العمر جيولوجياً إلى كل من كتلتى البرازيل وجيانا . وكذلك الحال بالنسبة لنمو قارة أوروبا حول كتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسى، ونمو قارة آسيا حول كتل سيبريا والصين والدكن، ونمو قارة استراليا حول كتل غرب استراليا، ونمو قارة أفريقيا حول كتلة جنوب أفريقيا.

٥- انتشار بقايا السهول التحاتية القديمة:

حيث إن التكوينات الصخرية للكتل القارية ظهرت فوق سطح الأرض منذ فترات جيولوجية بعيدة، فإن عوامل التعرية عملت على تعرية أسطح هذه التكوينات ، وإزالة المحدبات، ونجحت فى النهاية فى أن تكون سهولاً تحاتية قديمة العمر الجيولوجى .ومما ساعد على زيادة امتداد السهول التحاتية فوق تلك الكتل القارية هو عدم تأثرها بحركات رفع تكتونية تؤدى إلى تغيير المظهر التضاريسى لسطح الأرض، ومن ثم فقد عملت عوامل التعرية بحرية تامة فى تشكيل المظهر التضاريسى العام لأسطح الكتل القارية، ولا تتوقف مجموعات السهول التحاتية فى الكتل القارية على تلك السهول الحديثة النشأة والتى تظهر بقاياها على سطح الأرض وتشكل المظهر العام لسطح الكتل القارية، بل كذلك هناك الكثير من بقايا السهول التحاتية القديمة التى ترجع إلى الزمن الجيولوجى الثانى، وتوجد مدفونة أسفل التكوينات والإرسابات الحديثة. وتكشف بقايا السهول التحاتية القديمة عند إزالة بعض أجزاء من الإرسابات الحديثة التى تتراكم فوقها.

ومن بين أظهر بقايا السهول التحاتية القديمة التى يعزى عمر بعضها إلى الزمنين الجيولوجيين الأول والثانى ، ما يتمثل فى القسم الجنوبى الغربى من الكتلة البلطية، والقسم الشمالى من كتلة سيبريا. وقد أوضح الأستاذ لاستركنج L. C. King (١) بأن أظهر بقايا السهول التحاتية القديمة العمر الجيولوجى وأكثرها انتشاراً تتمثل فى القسم الجنوبى من

كتلة أفريقيا. وحسب دراسات لاستر كنج تبين أن هناك بقايا لسهل تحاتي قديم تكون خلال العصر الكربوني فوق كتلة جندوانا، وأطلق عليه اسم سهل ما قبل الكارو Pre-Karoo Surfacs ، ولا تزال معظم بقايا هذا السهل التحاتي مدفونة أسفل التكوينات الصخرية الأحدث عمراً.

وقد عثر كنج فوق بعض أجزاء من بقايا هذا السهل القديم على أدلة جيولوجية تثبت تشكيله بفعل جليد العصر الكربوني ، وأوضح كنج بأن أقدم السهول التحاتية في كتلة جنوب أفريقيا هو سهل جندوانا -Gondwa na Surface ويتراوح منسوبه فيما بين ٥٠٠٠ إلى ٧٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر الحالي وتمتد بقايا هذا السهل القديم في باسوتولاند . وقد كان هذا السهل جزءاً من قارة جندوانا القديمة . كما ميز كنج كذلك مجموعة أخرى من بقايا السهول التحاتية القديمة في كتلة جنوب أفريقيا ، وأطلق عليهااسم سهل ما بعد جندوانا Post Gondwana Surface، وتتمثل بقايا هذا السهل الأخير على ارتفاع ٢٥٠٠ إلى ٤٠٠٠قدم فوق مستوى البحر الحالي .

ولما كانت هناك أجزاء واسعة من بعض الكتل القارية القديمة تتميز باستواء سطحها وانخفاض منسوبها بالنسبة لمستوى سطح البحر، فقد تأثرت الأجزاء الساحلية منها كثيراً بفعل طغيان البحر عليها، ولم تقتصر عملية تقدم البحرعلى بعض أجزاء من تلك الكتل خلال العصور القديمة ، بل كذلك خلال عصر البلايوستوسين. فقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن القسم الشمالي من كتلة سيبريا، وكتلة الرصيف الروسي وأجزاء واسعة من الكتلة البلطية، والقسم الشمالي من الكتلة اللورنشية كانت كلها عبارة عن رفارف قارية Continental Shelves خلال الفترات الدفيئة الأولى من عصر البلايوستوسين وتبعاً للانخفاض التدريجي الذي تعرض له مستوى سطح البحر منذ نهاية عصر البلايوستوسين انحضرت مياه البحر عن هوامش الكتل القاريةوتركت فوقها فرشات واسعة من الرواسب البحرية

٦- الحركات التكتونية فى الكتل القارية :

تبعاً لشدة صلابة صخور الكتل القارية القديمة فلا ينجم عن عمليات الرفع التكتونية فيها تجعد قشرة الأرض وثنيها أو طيها على شكل سلاسل جبلية . ومن ثم لا تتمثل مظاهر الالتواءات الألبية الحديثة (الميوسينية) فى أجزاء هذه الكتل المستقرة. ولكن ليس من الصواب أن نعتقد بأن الكتل القارية لن تتأثر بالحركات التكتونية وذلك لما يلى:

أ- قد ينجم عن بعض الحركات التكتونية الحديثة التى تعمل على ضغط وشد أجزاء من الكتل القارية القديمة تكوين مناطق تأثرت بشدة فعل التصدع Faulting ، أو بمعنى آخر فإن الأجزاء الصلبة من صخور الكتل القارية تتعرض للصدوع وزحزحة الطبقات أكثر من تعرضها للإلتواءات أو تكوين ثنيات محدبة ومقعرة.

ومن أظهر المناطق الصدعية فى الكتل القارية القديمة، صدوع الأخدود الأفريقى العظيم فى شرق قارة أفريقيا والذى يسهم فى حدوث الزلزال . وأدت هذه الصدوع المركبة الكبرى إلى تكوين الأغوار الحوضية الصدعية، والهضاب البارزة الصدعية، والصدوع السلمية فى إقليم بحيرة بيكال بكتلة سيبريا، والصدوع الكبرى فى منطقة شمال بحر قزوين ومنطقة أكرانيا بكتلة الرصيف الروسى.

ب- قد تتداخل المصهورات النارية فى تكوينات الكتل القديمة خلال عصور جيولوجية مختلفة، وتظهر إما على شكل عروق وسدود نارية كما هو الحال فى بعض أجزاء من الكتلة اللورنشية وكتلة جنوب أفريقيا فى باسوتولاند ، أو على شكل قباب الباثوليث كما هو الحال فى غرب استراليا ، وتظهر أحياناً على شكل طفوح وفرشات هضبية بازلتية كما هو الحال فى القسم الشمالى من كتلة الدكن.

جـ- تعرضت معظم أجزاء الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية قديمة جداً أدت إلى تكوين سلاسل جبلية قديمة العمر الجيولوجى (ينتمى معظمها إلى الحركة الكارنية فيما قبل الكمبرى) وعملت عوامل

التعرية خلال الفترات الجيولوجية الطويلة على تشكيل هذه المرتفعات وتسويتها. فخلال فترة ما قبل الكمبرى تعرضت الكتل اللورنشية لحركات رفع تكتونية من بينها ما يعرف باسم الحركة اللورنشية -Lauren tian، والحركة الكيواتية Keewatin وتأثرت الكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسى بحركات رفع تكتونية قديمة تعرف باسم الحركة اللويزية -Lewi sian والحركة المارلبية Marealbean وحركة جوثيك GOTHEC. ومن بين الحركات التكتونية لفترة ما قبل الكمبرى التى تتأثر بها كتلة جنوب افريقيا حركة سوازى لاند Swaziland وحركة سيراليون Sierra Leone

٧- الكتل القارية القديمة وأثرها فى تشكيل اتجاه السلاسل الالتوائية الألبية الحديثة:

إن كانت الكتل القارية القديمة المستقرة لم تتأثر بحركات الطى التكتونية الميوسينية، ولم ينتج فيها ملامح واضحة للسلاسل الجبلية الألبية، فإن كتل صخورها الصلبة لهابعض الأثر فى تشكيل اتجاه بعض السلاسل الالتوائية الألبية . فمن دراسة التوزيع الجغرافى لهذه السلاسل الجبلية الأخيرة يتضح أن معظمها يتخذ شكل أقواس تحيط بهوامش الكتل القارية الصلبة. ففى أمريكا الشمالية تمتد السلاسل الجبلية الميوسينية على شكل أقواس حول القسم الغربى من الكتلة اللورنشية وتعرف هنا باسم مرتفعات ماكينزى Mackenzie وسلاسل الروكى Rocky وتمتد مرتفعات الأنديز على شكل قوس كبير حول الأطراف الغربية لكتلتى جيانا والبرازيل . وتمتد مرتفعات أورال والكربات والألب فى قارة أوربا حول كتلة الرصيف الروسى. أما فى قارة آسيا فتمتد السلاسل الألبية الميوسينية ومنها مرتفعات تيان شان حول الأطراف الجنوبية لكتلة سيبريا. وتمتد الأقواس الجبلية للهيملايا إلى الشمال من كتلة الدكن، وعندما تقابل سلاسل الهيملايا كتلة الصين الصلبة فى الشرق، تنحرف على شكل أقواس جبلية كبرى تمتد من الشمال إلى الجنوب فى منطقة أعالى أنهار سالوين وميكونج ، وتعرف هنا باسم

سلاسل اركانيوما وباسم سلسل دوانا فى شمال شبه جزيرة الملايو، وبسلاسل سومطرة فى جزيرة سومطرة.

الكتلة اللورنشية القديمة

تشغل الكتلة اللورنشية Laurentian Shield أو كما يطلق عليها أحياناً اسم الكتلة الكندية نحو نصف مساحة قارة أمريكا الشمالية بل تمتد أبعادها شمالاً وتضم مجموعة جزر الأرخبيل الواقعة إلى شمال خليج هدسن ومعظم أجزاء جزيرة جرينلند . وتمتد الكتلة جنوباً على شكل قوس هائل يحده خط من البحيرات الجليدية النشأة وتشمل من الغرب إلى الشرق بحيرات جريت بير Great Bear وجريت سليف Great Slave واتباسكا Athabasca ووينيبج Winnipeg ثم مجموعة البحيرات الخمس الكبرى وتشمل بحيرات سوبيريور Superior ومتشجن Michigen وهورن Huron وإيرى Erie وانتاريو Ontarioومعظم القسم الأدنى من حوض نهر سنت لورنس.

وتعتبر الكتلة اللورنشية أظهر مثال لمجموعة الكتل القديمة جيولوجياً حيث تتألف تكوينات هذه الكتلة من صخور ما قبل الكمبرى ومعظمها عبارة عن صخور رسوبية تعرضت لعمليات التحول ، وأصبحت تنتمى لمجموعة الصخور المتحولة ، وتتخللها جذور نارية لمرتفعات قديمة تمت إزالة تكويناتها بفعل عوامل التعرية كما يتداخل فى بعض اجزاء هذه الصخور عروق وسدود نارية مختلفة . ولم تتأثر هذه الكتل بحركات الرفع التكتونية الألبية الحديثة إلا انها تشكلت بالصدوع وخاصة فى الجانب الشرقى منها فى هضبة لبرادور. وتبعاً لاستقرار هذه الكتلة تكتونياً وشدة فعل عوامل التعرية لفترة جيولوجية طويلة تميزت الكتلة بشدة استواء سطحها ، وقلة منسوبها وتكونت فيها سهول تحاتية قديمة . كما تشكل القسم الشمالى من الكتلة اللورنشية بتذبذب مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين، وطغى البحر على جزء كبير منها وأدى ذلك إلى تكوين مجموعات جزر الأرخبيل إلى الشمال من خليج

هدسن. كما تشكلت سهول الكتلة اللورنشية القديمة بفعل الجليد البلايوستوسينى، وغطيت أجزاء واسعة منها بالركامات الجليدية، وتبعثرت فوقها الكثير من البحيرات الجليدية النشأة.

وقد نمت قارة أمريكا الشمالية حول الكتلة اللورنشية وأخذت مساحة القارة تزداد من فترة جيولوجية إلى أخرى نتيجة لإضافة مناطق جديدة من اليابس حول أطراف الكتلة القارية القديمة. ويمكن أن نلخص مراحل التطور الجيولوجى للكتلة اللورنشية وباليوجرافية قارة أمريكا الشمالية فى النقاط التالية:

أ- بعد أن انفصلت كتلة اركتس تزحزحت بعض بقاياها غرباً اصبحت الكتلة اللورنشية عبارة عن قلب أمريكا الشمالية Heartlands أو نواتها المركزية. وتمتد منطقة النواة القديمة هذه من شبه جزيرة لبرادور Labrador فى الشمال الشرقى إلى أراضى وايومنج Wyoming فى الجنوب الغربى . وتتألف هذه المنطقة من صخور رسوبية ومتحولة قديمة ويتداخل فيها عرق وسدود نارية من الجرانيت، ويتمثل فيها كذلك جذور جبلية نارية. ويتراوح عمر هذه التكوينات من ٢,٠ إلى ٢,٨ بليون سنة(١). وترتفع نسبة السليكات فى هذه التكوينات الصخرية القديمة وتقل فيها نسبة الكربونات.

وتشكلت الكتلة اللورنشية بحركات رفع تكتونية خلال الزمن الأركى أو الأوزوى Archaeozoic or Eozoec ، وأدى ذلك إلى تكوين سلاسل مرتفعات كورديليرا القديمة، وانكسترال، وسينسيناتى، ونيوبرونزويك. وقد تعرضت هذه المرتفعات لفعل عوامل التعرية الشديدة، كما أن بعض تكويناتها غطيت بالرواسب الأحدث عمراً.

, (1) Stokes,W.L., and Hudson,S. "Introduction to geology ", N.J., (1968) P.270

وفى نهاية فترة البروتروزوى Proterozoic (نهاية ما قبل الكمبرى) تعرضت الكتلة اللورنشية لحركات تكتونية أخرى تتمثل فيما يلى:

أ- فترة سدبريان Sudbaryan وأدت إلى تكوين سلاسل جبلية.

ب- فترة هورنيان Huronian وأدت إلى حدوث نشاطات بركانية.

ج- فترة كويناوان Keweenawan وترسبب خلالها رواسب الحديد والنحاس فى منطقة سوبيريور.

٢- بعد هذه المرحلة الأولى استقرت النواة القديمة تكتونياً . وتعرضت لفترة طويلة لفعل عوامل التعرية وتجمعت الكثير من المفتتات الصخرية حول النواة المركزية للقارة وتماسكت وكونت نطاق من الصخور السميكة ، كما تداخلت فيها بعض التكوينات النارية الجرانيتية. ومن ثم تكون نطاق أراضى تشرشل Churchil (التى تشرف على خليج هدسن) والولايات الوسطى فى أمريكا الشمالية. وتدخل أراضى تشرشل فى بناء قسم كبير من الكتلة اللورنشية، فى حين غطت الصخور القديمة لمناطق الولايات الوسطى فى الولايات المتحدة الأمريكية برواسب أحدث عمراً. ومع ذلك فقد تظهر بعض أجزاء من هذه الصخور القديمة العمر الجيولوجى فوق سطح الأرض إذا ما تعرضت لحركات رفع تكتونية كما هو الحال فى الاطراف الشرقية الوسطى لسلاسل الكورديلليرا وتلال بلاك Black Hills ، وجبال أوزارك Ozark Mts ، وفى بعض أجزاء من حوض أخدود كلورادو العظيم . وتتألف صخور هذا النطاق من اللافا الحمضية الغنية بالسليكات، وصخور الأركوز Arkoses ، والجراى واكى Graywackes والدولوميت Dolomit ويتراوح عمرها الجيولوجى من ١,٨ إلى ٢,٥ بليون سنة .

٣- ثم بدأت بعد ذلك مرحلة جديدة أدت إلى بناء صخور منطقةجرنفيل Grenville توالتى يرجع عمرها إلى نح بليون سنة مضت.

وتكون عند نهاية هذه المرحلة أكثر من ٦٠٪ من جملة مساحة أمريكا

الشمالية . وامتدت أراضى القارة من لبرادور فى الشمال الشرقى إلى المكسيك فى الجنوب الغربى. وتنتمى صخور جزيرة جرينلند إلى نفس هذه الحقبة من الزمن الجيولوجى. وأهم تكوينات هذه الفترة القديمة تتمثل فى صخور رسوبية قديمة العمر الجيولوجى ويتداخل فيها عروق وسدود جرانيتية وبعض تكوينات الكوارتزيت كما تظهر بعض الحفريات المتناثرة فى الصخور الرسوبية ومن أهمها مجموعة الطحالب الجيرية Calcareous Algae.

٤- وبعد مرحلة جرنفيل بدأت فترة جديدة ترسيت خلالها. كميات هائلة من المفتتات الصخرية الحطامية ، وخاصة فى منطقة البحيرات الأمريكية وتكونت فى هذه المنطقة الأخيرة نطاقات واسعة من صخور المجمعات وخاصة صخور مجمعات جوجاندا Gowganda Conglomerate والتى تحتوى على كثير من الأدلة التى تشير إلى حدوث عصر جليدى قديم خلال فترة ما قبل الكمبرى Pre-Cambrian Glaciation ويرجع بعض الجيولوجيين بأنه تكون فى تكوينات الكتلة اللورنشية خلال تلك الفترة كثير من المعادن وخاصة الذهب فى منطقة أونتاريو ومنطقة كوبيك وبعض خامات النيكل والنحاس واليورانيوم المبعثرة فى مناطق مختلفة .

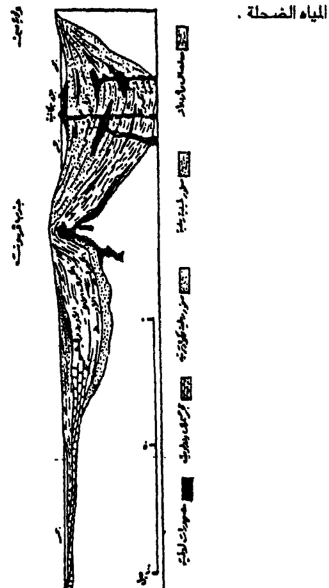
٥- ثم بامتلاء الأحواض الجيولوجية البحرية القديمة Geosynclines بالرواسب خلال الزمنين الثالث والرابع، وتعرض هذه الرواسب الهائلة الحجم لحركات الرفع التكتونية فى الزمن الثالث وتكونت سلاسل الكورديليرا والتحمت مع الكتلة اللورنشية،وظهرت أبعاد القارة بما يشبه مساحتها الحالية وفى عصر البلايوستوسين تشكلت سواحل القارة بظواهر جيومورفولوجية مختلفة نتيجة لتذبذب مستوى سطح البحر من فترة إلى أخرى ، كما عمل جليد عصر البلايوستوسين هو الآخر على تشكيل المظهر التضاريسى العام للكتلة اللورنشية خاصة، ولقارة أمريكا الشمالية عامة.

ثانياً : مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة بأن السلاسل الجبلية الكبرى التى تظهر بارزة فوق سطح الأرض اليوم، قد ترسبت موادها وصخورها (قبل تعرضها لعمليات الرفع التكتونية) فى أحواض بحرية تكتونية عظمى تعرف باسم Geosynclines. ويعد الجيولوجى الأمريكى جيمس هول James Hall أول من أشار علمياً إلى هذه الملاحظة حيث تبين أن سمك كل من الطبقات الصخرية المختلفة فى المناطق الجبلية الالتوائية أكبر بكثير من سمك نفس هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية المجاورة. وأوضح هول بأن الصخور العليا من الزمن الجيولوجى الأول بمرتفعات الأبلاش يبلغ متوسط سمكها نحو أربعة أضعاف سمك نفس هذه الصخور بالسهول الساحلية الشرقية لأمريكا الشمالية. وقد أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة كذلك بأن سمك كل من مجموعات الطبقات الصخرية فى مرتفعات الألب والروكى والأنديز والهيملايا والأورال يتراوح عادة من ٦ إلى ٩ أميال ، فى حين لا يزيد سمك كل من نفس هذه المجموعات الصخرية بالأراضى السهلية المجاورة عن بضعة آلاف من الأقدام فقط.

ومن دراسة التركيب الجيولوجى للطبقات الصخرية 'المناطق الجبلية الإلتوائية ومقارنته بنظائرها فى المناطق المنخفضة السطح، تبين أن الأولى تتميز كذلك بتجانس الصخور فى الأجزاء الوسطى من كتلتها ، فى حين تتشكل جوانبها بمفتتات صخرية رملية وصلصالية ومواد حطامية وصخور المجمعات وكلها نتجت أساساً تبعاً لتعرض الصخور الأصلية لعوامل التعرية عند أطرافها الهامشية . كما تتميز الطبقات الصخرية الرقيقة السمك فى المناطق غير الالتوائية بعدم تجانس كبير بين أجزاء صخورها المختلفة . (شكل ١٦٢). بالإضافة إلى هذه الملاحظات السابقة تبين أن الحفريات الممثلة فى الطبقة الصخرية الواحدة تختلف عائلاتها كذلك إذا ما كانت فى الصخور الالتوائية السميكة من هذه الطبقة عن تلك المدفونة فى الصخور الرقيقة السمك . وتبين للعلماء بأن عائلات الحفريات

فى الصخور السميكة تتميز بأنها من الأنواع التى تعيش فى المياه العميقة بينما تلك فى الصخور الرقيقة السمك تعد من الكائنات التى تعيش فى المياه الضحلة .



شكل (١٦٢) الأحواض الجيولوجية الكبرى وتجمع الرواسب الهائلة السمك فوق قاعها، وتتميز هذه الرواسب كذلك بتجانسها وحفرياتها من نوع تلك التى تعيش فى المياه العميقة كما قد يتداخل فى تلك التكوينات مصهورات نارية.

وتبعاً لهذه النتائج المختلفة تأكد الجيولوجيون بأن الصخور الالتوائية الهائلة السمك تجمعت أصلاً فى أحواض بحرية تكتونية عميقة Ceosyn-clines وتراكمت فيها الرواسب الصخرية بصورة تدريجية، ثم تعرضت بعد ذلك لعمليات الرفع التكتونية التى أدت إلى ظهورها على شكل سلاسل جبلية عالية ، وفى نفس الوقت تتركب من طبقات صخرية هائلة السمك بالنسبة لنفس نوع هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية التى لم تتأثر بحركات الرفع التكتونية.

ويرجع الفضل كذلك إلى الأستاذ الجيولوجى هوج Haug فى تحقيق دراسات هول Hall وتفسير نشأة السلاسل الجبلية وكيفية تطور نموها. وكان للدراسات التى قام بها كل من بيلى Bailey (١) فى عام ١٩٣٥ ، ودالى Daly (٢) فى عام ١٩٣٨، وامجروف Umbgrove (٣) فى عام ١٩٤٧ الفضل الكبير فى تعديل أراء هول Hall ، وتفسير بنية القشرة الأرضية ونشأة السلاسل الجبلية وإيضاح مراحل نموها.

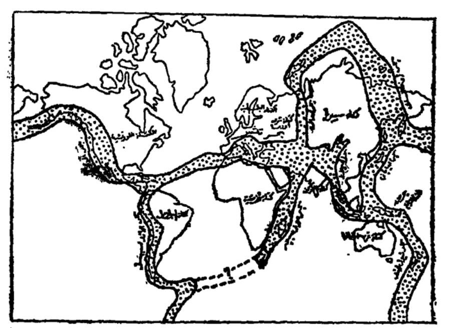
وقد أوضح هوج Haug من نتائج دراسته لسمك الصخور الإرسابية فى البحار الجيولوجية القديمة ، ومجموعات الحفريات التى تتمثل فيها، بأن هذه البحار كانت تمتد على شكل ألسنة طويلة محدودة الاتساع إلا أنها هائلة العمق والطول وتحيط بالكتل القارية القديمة (شكل ١٦٣) . ومن أظهر هذه البحار الجيولوجية القديمة بحر تثس التى تتمثل بقاياه فى البحر المتوسط وكان يفصل بين الكتل القارية فى أوربا شمالاً وكتلة أفريقيا جنوباً ، ويطلق على القسم الشرقى منه بحر الهيمالايا، وكان يفصل بين كتلة سيبريا فى الشمال وكتلة الدكن فى الجنوب. وفى الأمريكتين كان يمتد بحر الروكى ـ الأنديز الجيولوجى القديم ، وقد كان بحراً طولياً يشغل القسم الغربى من القارتين.

---

(1) Bailey, E.B., " Tectonic Essays...." Oxford, (1935).
(2) Daly R.A., "Architecture of the earth ", N.Y (1938).
(3) Umbgrove, T.H.F., "The Pluse Of The Earth", Hague, (1947).

ومن بين البحار الجيولوجية القديمة الأخرى بحر أورال الذى كان يفصل بين كتلة سيبريا شرقاً وكتلة الرصيف الروسى غرباً ، وبحر موزمبيق وجزر الهند الشرقية (١).

وبعد أن تجمعت كميات هائلة من الرواسب فوق أرضية تلك البحار الجيولوجية القديمة تعرضت لحركات رفع تكتونية ، أدت إلى رفع قاع المحيطات القديمة ونمعج الطبقات الإرسابية والتوائها على شكل سلاسل جبلية عالية. وقد اشتدت تلك الحركات التكتونية خلال الزمن الجيولوجى الثالث، وأدت إلى تكوين مجموعة السلاسل الجبلية التى كانت بمثابة مواد لاحمة ضمت أجزاء الكتل القارية مع بعضها البعض وأدت إلى نمو القارات بشكلها الحالى، وتشكيل المظهر التضاريسى العام لسطح قشرة الأرض.



شكل (١٦٣) الكتل القارية القديمة والبحار الجيولوجية القديمةالتى تمثل مناطق ضعف جيولوجية حسب إقتراح الأستاذ هوج.

وعلى ذلك لخص الأستاذ ولدريدج (١) مراحل نمو السلاسل الجبلية فى ثلاثة أدوار هى:

---

(١) محمد متولى موسى ، وجه الأرض ، – القاهرة ص ١١٧

١ـ مرحلة تكوين الرواسب فى قاع البحار الجيولوجية القديمة وتعرف باسم Period of Lithogenesis

٢ـ مرحلة تشكيل هذه الرواسب الهائلة السمك بفعل حركات الطى Folding والتصدع Faulting وتعرف باسم Period of Orogensis

٣- مرحلة تعرض السلاسل الجبلية بعد ظهورها على سطح الأرض لفعل عوامل التعرية ، وتعرف هذه المرحلة باسم Period Of Glyptogen-sis .

حركات الرفع التكتونية الكبرى خلال الأزمنة الجيولوجية

يتضح مما سبق أن هناك أجزاء واسعة من القشرة الأرضية ظلت ثابتة مستقرة طوال فترات العصور الجيولوجية المختلفة وهى التى سميت باسم « الكتل القارية» فى حين تشكلت المناطق الحوضية البحرية الكبرى والتى تجمعت فيها كميات هائلة الحجم من الرواسب بحركات رفع تكتونية خلال فترات مختلفة من التاريخ الجيولوجى أدت إلى بناء السلاسل الجبلية التى نراها تشكل على سطح الأرض اليوم.

ولا يتوقف تأثير حركات الرفع التكتونية على السلاسل الجبلية العالية التى نراها فوق سطح الأرض اليوم، بل هناك آثار لحركات تكتونية قديمة جداً (خلال فترة ما قبل الكمبرى) ، عملت عوامل التعرية على تشكيل مظهرها، وإزالة محدباتها وثنياتها وأصبحت تبدو على شكل سهول مستوية السطح وتمثل نطاقات واسعة من الكتل القارية القديمة. وعلى الرغم من تعرض هذه السلاسل الجبلية القديمة لفعل عوامل التعرية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجى، وأصبحت تظهر على شكل سهول ، إلاأن تركيبها الجيولوجى لا يزال يدل على مظهرها الأولى القديم، ويمكن للباحث الجيولوجى أن يدرك الصورة الأصلية لمثل هذه التكوينات الالتوائية القديمة، عند دراسته للتركيب الصخرى وبنية طبقات تلك المناطق.

(1) Wooldridge, S.W., and Morgan, R.S., "Geomorphology ", London, (1961) p.75

ويوضح الجدول فى صفحة (١٤٦) ، الحركات التكتونية الرئيسية التى انتابت القشرة الأرضية والأزمنة الجيولوجية المختلفة التى حدثت خلالها وفيما يلى عرض موجز لهذه الحركات وما سببته فى تشكيل القشرة الأرضية.

أ- التواءات ما قبل الكمبرى: Pre-Camberian Orogenesis

تعد صخور ما قبل الكمبرى النواة التى تركزت عليها الصخور الأحدث عمراً والتى تكونت حولها القارات المختلفة . وتتركب تكوينات هذه الفترة عامة من الصخور الرسوبية، إلا أنه تبعاً لعمرها الجيولوجى البعيد تعرضت كثيراً لعمليات التحول الصخرى، ومن ثم أصبحت صخور هذه الفترة تتألف أساساً من النيس والشيست والأردواز والرخام والكونجلومرات(صخور المجمعات) القديمة العمر الجيولوجى.

وظل الجيولوجيون يعتقدون بأن أولى الحركات التكتونية التى انتابت قشرة الأرض حدثت فى النصف الأخير من الزمن الجيولوجى الأول. ولكن أكدت الدراسات الجيولوجية فى أقاليم شارنود فورست Charnwood Forest وتلال مالفرن Malvern ، ومرتفعات جرامبيان Grampians فى الجزر البريطانية ، على أن هذه المرتفعات قديمة العمر الجيولوجى وتكونت جذورها خلال بداية العصر الكمبرى وأطلق الجيولوجيون على هذه الحركة التكتونية القديمة اسم الحركة الكارنية .

وسرعان ما أكدت الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة حدوث حركات تكتونية أقدم عمراً من الحركة الكارنية فى أجزاء مختلفة من القارات وتتمثل جذورها فى القشرة الخارجية للأرض وإن كانت أسطحها تشكلت تماماً بفعل عوامل التعرية المختلة. ويمكن حصر أهم هذه الحركات فيما يلى:

١- تعد أقدم الحركات التكتونية المعروفة الآن فى أمريكا الشمالية تلك التى حدثت خلال الفترة من ٢٦٠٠ إلى ٢٤٠٠مليون سنة مضت، وتعرف باسم الحركة اللورنشية Laurentian ، والحركة الكيواتية Keewatin،

ويقابل هذه الحركات التكتونية فى أوربا ، الحركة اللويزية Lewisian، والحركة المارلبيةMarealbean .

٢ـ اكدت الدراسات الجيولوجية وجود تشابه كبير بين الحركات التكتونية القديمة فى جنوب أفريقيا وغرب استراليا وشبه القارة الهندية. وقد تشكلت هذه المناطق القارية جميعاً بحركات تكتونية عنيفة خلال الفترة من ٣٢٠٠ إلى ٢٦٠٠ مليون سنة مضت . وأهم هذه الحركات التكتونية فى أفريقيا هى حركات سوازى لاند Swazilandوسيراليون « Sierra Leone وبولاوايان Bulawayan وروديسياRhodesia

٣ـ وتميزت الفترة من ٢٤٠٠ إلى ٢٠٠٠ مليون سنة مضت ، بهدوء قشرة الأرض نسبياً . ولكن الفترة من ١٨٠ إلى ١٥٠ مليون سنة مضت انتابت قشرة الأرض حركات تكتونية كبرى من جديد وعرفت فى أمريكا الشمالية باسم حركات أثباسكا Athabasca . والهورنية Haronean ، والسدبرية Sudbury ويقابل هذه الحركات التكتونية فى أوربا حركات أوكرانيا الصغرى Younger Ukrainian والسكوفينية Svcofennian ، والكارلية Karelian

٤- ومنذ نحو ١٠٠٠ مليون سنة مضت تعرضت قشرة الأرض لحركات تكتونية من جديد ، كان أهمها فى أمريكا الشمالية حركة جرنفيل Grenveille ، وفى أوربا حركة جوثيك بالنرويج Gotic، وفى أوربا حركة جوثيك بالنرويج Gothec، وفى أفريقيا حركة كيبارانKibaran وفى الهند حركة ستبورا Satpura

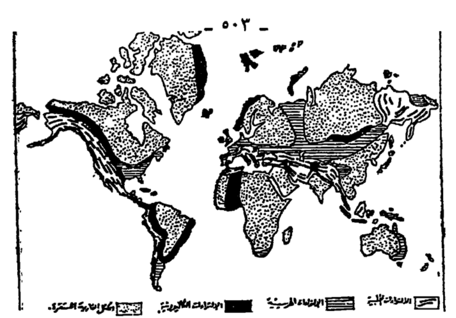
ب ـ الالتواءات الكاليدونية : Caledonian Orogenesis

شغلت هذه الالتواءات الفترة الجيولوجية الممتدة فيما بين السيلورى والديفونى. واشتق اسمها من مرتفعات كاليدونيا فى اسكتلند والتى تمثل احسن أمثلة هذه المجموعة من الالتواءات القديمة.وقد أكدت الدراسات الجيولوجية تشابه نظام البنية والتركيب الجيولوجى بين كل من تكوينات اسكتلند، وشبه جزيرة اسكنديناوة، مما جعل بعض الجيولوجيين يرجح بأنهما كانتا أرضا واحدة ثم هبطت بعض أجزائهما وشغل بحر الشمال تلك الأراضى الهابطة.

ومن ثم تمتد سلاسل الحركة الكاليدونية فى شمال غرب أوربا فى اتجاه عام من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى، وتظهر مرتفعاتها فى جزيرة ايرلند، واسكتلند والقسم الشمالى من انجلترا، وشمال ويلز، والقسم الجبلى الغربى من شبه جزيرة اسكنديناوة ويحد هذه الجبال الأخيرة خط بحيرات جلينت Glinte Line الذى يفصل بين مناطق المرتفعات الالتوائية الكاليدونية والكتلة البلطية القارية القديمة.

أما فى قارة أسيا فتظهر نتائج الالتواءات الكاليدونية فى بعض أجزاء من مرتفعات سيبيريا وخاصة مرتفعات كوليما فى الشمال الشرقى ومرتفعات جنوب بحيرة بيكال ومرتفعات بوريات Buryat، ومرتفعات سايان Sayan التى تشغل الحوض الأعلى لنهرى أوكا وانجارا، وفى السلاسل الجبلية التى تتمثل على الجانب الشرقى من الحوض الأوسط لنهرلينا. وتظهر السلاسل الجبلية الكاليدونية فى أفريقيا خاصة فى الصحراء الكبرى بمنطقة مرتفعات جورارة كمات تظهر فى مرتفعات جنوب شرق استراليا فى ولاية نيوسوث ويلز. أما فى أمريكا الشمالية فتمتد الالتواءات الكاليدونية فى هضبة بيدمنت والسفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات الإبلاش، وفى المناطق الهضبية الغربية الممتدة بين إقليم نيو انجلند حتى إقليم فرجينيا.

وقد صاحب الحركات التكتونية الكاليدوبية ثورانات بركانية أدت إلى تكوين نطاقات كبرى من السدود الراسية والعروق والبراكين. وترجع التكوينات اللافية التى تتمثل تحت قاع المحيط أمام سواحل كورنول وديفون وكذلك بعض القمم الجبلية البركانية (بن نفيس Ben Nivis وجلين سوى Glen Coe و أوبان Oban و سيدلو Sidlaw وأوشيل Och-el) فى بريطانيا إلى المصهورات البركانية الكاليدونية (شكل١٦٤)



شكل (١٦٤) المناطق المستقرة (الكتل القارية القديمة) وغير المستقرة من قارات العالم (مناطق الالتواءات الكاليدونية والهرسينية والألبية).

جـ - الالتواءات الهرسينية : Hercynean Orogenesis

حدثت هذه الحركات التكتونية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجى امتدت من العصر الفحمى أو الكربونى Carboniferous حتى بداية العصر البرمى Permian . ومن ثم لم تحدث هذه الحركات على دفعة واحدة بل ظهرت دوراتها خلال مراحل متعاقبة فيما بين هذين العصرين - ويطلق على هذه الحركة الالتوائية الكبرى أسماء متعددة منها الحركات الأرموريكية Armorican وخاصة فى الجزر البريطانية وفرنسا ، فى حين يطلق عليها اسم الحركات الهرسينية Hercynian أو الحركات الفارسكية Variscan فى بقية أجزاء أوربا .

وقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن الحركة الهرسينية صاحبها كثير من عمليات التصدع الشديدة، وشكلت الصدوع المركبة الطبقات الصخرية التى تعرضت للإنثناء والالتواء ومن ثم نجحت عوامل التعرية فى إزالة الكثير من تكوينات هذه الصخور وخاصة على طول أسطح الصدوع وفى مناطق الضعف الجيولوجى وأصبحت تبدو اليوم على شكل هضاب صدعية مضرسة.

وتمتد نطاقات الالتواءات الهرسينية فى قارة أوربا إلى الجنوب من نطاق الالتواءات الكاليدونية على شكل هضيبات صدعية متوسطة المنسوب بالنسبة لمستوى سطح البحر الحالى . ومن بين أظهر هذه الهضبات كورنول Cornwall فى جنوب غرب انجلترا، والقسم الغربى من هضبة المزيتا فى شبه جزيرة أيبريا ، وهضاب فرنسا الوسطى إلى الغرب من ليون (أوفرن Auvegne ـ كليرمون فرا Clermont Ferrand ـ سفن Cavennes) ومرتفعات بريتانى فى غرب فرنسا، ومجموعة الهضاب الصدعيةالوسطى فى أوربا وخاصة هضاب الفوج Vosges والغابة السوداء، وبوهيميا ، والسوديت ، وتاترا Tatra فى تشيكوسلوفاكيا، وهضاب مكيفكا Makeyevka المتوسطة الارتفاع إلى الشمال من بحر آزوف Azov فى الاتحاد السوفيتى . أمافى قارة آسيا فتتمثل أهم المرتفعات الهرسينية فى المناطق المرتفعة من الصين الداخلية وخاصة مرتفعات التاى Altai حول حوض زونجاريا، ومرتفعات سايان Sayan Mts، ومرتفعات خنجان Khin-gan ويابلونوى Yablonvy حول حوض شامو Shamo (جوبى Gobi) ومرتفعات ستانفوى Stanovoy وتعد أجزاء واسعة من مرتفعات الإبلاش الشمالية تابعة للحركات الهرسينية. أما فى أمريكا الجنوبية فتظهر نتائج هذه الحركة فى مرتفعات بتاجونيا ، وفى أفريقيا قد تعد بداية نشأة مرتفعات سراكنزبرج تابعة لهذه المرحلة إلا أن هذه المرتفعات الأخيرة بلغت أعلى مراحل نموهاخلال الزمن الثالث.

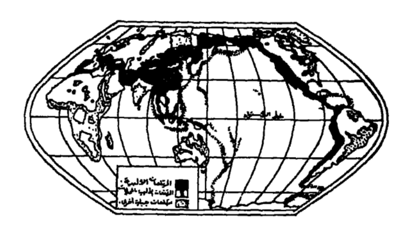
د ـ الالتواءات الألبية: Alpine Orogenesis (١)

تعتبرهذه الالتواءات أحدث الحركات التكتونية التى تعرضت لها قشرة الأرض خلال الزمن الجيولوجى الطويل ، وامتدت دوراتها من نهاية الزمن الثانى، وبلغت أعلى قوة لها خلال عصر الميوسين فى الزمن الجيولوجى الثالث ، وعلى ذلك يقسم الجيولوجيون المراحل الثانوية التى أدت إلى تكون السلاسل الألبية إلى مراحل ما قبل الزمن الثالث، وكانت الحركة

(١) سميت هذه الإلتواءات بهذا الإسم نسبة لمرتفعات الألب Alpsفى قارة اوربا .

الالتوائية فى بدايتها وتميزت بضعفها العام، ثم مرحلة عصر الميوسين الأوسط الذى زادت خلاله درجة نمو هذه السلاسل الالتوائية، ثم كان نهاية مرحلة نمو السلاسل الالتوائية بنهاية عصر الميوسين.

ومن دراسة التوزيع الجغرافى للسلاسل الجبلية الألبية فى العالم يتضح أنها تتكون على شكل أقواس حول الكتل القارية القديمة ، وتظهر فى إتجاهين مختلفين (شكل ١٦٥) وفى العالم القديم تمتد هذه السلاسل الالتوائية فى اتجاه عام من الغرب إلى الشرق أما فى الأمريكتين فتمتد من الشمال إلى الجنوب وقد حاول فجنرWegener ودالى Daly ، وتايلور Tay-lor تفسير اختلاف اتجاه الامتداد العام للسلاسل الالتوائية وذلك عن طريق زحزحة الكتل القارية القديمة من مناطق القطبين نحو خط الاستواء



شكل (١٦٥) السلاسل الجبلية الالتوائية واختلاف اتجاهاتها فى قارات العالم .

ونتج عن ذلك تكوين السلاسل الجبلية العرضية (الغربية الشرقية) فى حين نتج عن زحزحة الأمريكتين غرباً تكوين سلاسل الكورديلرا - الأنديز الطولية (الشمالية - الجنوبية)

وقسم الأستاذ ولدريدج Wooldridge (١) السلاسل الجبلية الألبية فى القارة الأوربية إلى مجموعتين هما:

أ - **المجموعة الألبية الرئيسية** : وتشمل من الغرب إلى الشرق مرتفعات أطلس الساحلية فى شمال غرب أفريقيا وسيرانيفادا على الجانب الجنوبى لحوض الأندلس فى أسبانيا ، ومرتفعات البرانس فى أسبانيا، ثم ينتمى إلى هذه المجموعة مرتفعات الألب (الغربية والوسطى والشرقية) وتمتد السلاسل شرقاً لتضم أقواس مرتفعات ترانسلفانيا والكربات ، وإلى الجنوب من مرتفعات ترانسلفانيا تمتد أقواس مرتفعات البلقان وروسوب التى تظهر مكملاتها فى شمال تركيا وتعرف باسم مرتفعات بنطس أو « كانيك» Canek.

ب - **المجموعة الألبية الأدرياتية**: وتمتد جنوب المجموعة السابقة وتشمل من الغرب إلى الشرق قوس مرتفعات أطلس التل أو الصحراء، ومرتفعات الأبنين وكلابريا فى شبه جزيرة إيطاليا ، وسلاسل مرتفعات كابلا kapela وفالبيت Velebit والألب الديتارية Panina Dinara فى يوغوسلافيا وامتدادها فى ألبانيا ، ومرتفعات بندس Pindus فى شبه جزيرة المورة فى اليونان، وتمتد السلاسل الألبية شرقاً لتشمل مرتفعات طوروس Taurus فى جنوب تركيا.

أما فى قارة آسيا فإن مرتفعات بنطس ومرتفعات طوروس تتلاقى فى عقدة أرمينيا. ومن هذه العقدة الجيولوجية تتفرع سلاسل جبلية عالية أهمها سلاسل مرتفعات القوقاز فيما بين البحر الأسود وبحر قزوين، ومرتفعات البرز وهندكوش ومرتفعات زاجوروس التى تنحصر بينها هضبة إيران، وتلتقى هذه السلاسل مع مرتفعات سليمان فى عقدة جيولوجية كبرى هى عقدة بامير. ومن هذه المنطقة الاخيرة تتفرع أقواس جبلية رئيسية تتمثل فى كون لون، وقره قورم والهيملايا وتحصر بينها هضبة التبت، ومرتفعات تيان شان وتحصر بينها حوض تكلاماكان

ويلاحظ أن مرتفعات شرق التبت لا تتجه شرقاً حتى تقابلها كتلة الصين الصلبة بل تتجه السلاسل على شكل أقواس نحو الجنوب وتعرف هنا باسم سلاسل مانيبور ، وسلاسل اركانيوما، ثم باسم سلاسل دوانا في شبه جزيرة الملايو.

أما فى أمريكا الشمالية ، فتمد أقواس المرتفعات الألبية من الجنوب إلى الشمال فى المناطق التى كان يحتلها من قبل حوض البحر الجيولوجى القديم فى غرب القارة. وتعرف الجبال فى غرب المكسيك باسم سيرامادير الغربية، ويمتد فى شرق المكسيك سيرامادير الشرقية ويحصران بينهما هضبة المكسيك . وفى الولايات المتحدة الأمريكية يزداد اتساع السلاسل الجبلية وتشغل القسم الغربى من أراضى البلاد، وتعرف على الجانب الغربى المطل على المحيط الهادى باسم السلسلة الساحلية ومرتفعات سيرانيفادا، وامتدادها المعروفة باسم مرتفعات كاسكيد،ومرتفعات وارش، أما فى الشرق فتظهر أقواس مرتفعات بيج هورن ولارامى ، وبارك ، والروكى . وقد تأثرت هذه المرتفعات بصدوع عنيفة ، كما غطت المصهورات اللافية مناطق واسعة من هضبة كولومبيا ، وتحصر هذه السلاسل فيما بينها أحواض مرتفعة المنسوب منها الحوض العظيم، وحوض نيفادا، وحوض واساتش، وحوض كلورادو، وحوض أريزونا وموجاف.

وفى القسم الغربى من كندا ويشبه جزيرة السكا تظهر مكملات هذه النطاقات الألبية الكبرى وتعرف هنا باسم السلسلة الساحلية كذلك ومرتفعات سانت إلياس المطلة على خليج ياكوتا. وفى الشرق تعرف باسم مرتفعات ماكينزى، ومرتفعات كاسير وأومينسا ، وتحصر هذه المرتفعات فيما بينها هضاب مرتفعة أهمها هضبة يوكن وهضبة أوجيلفى .

أما فى أمريكا الجنوبية فتمتد المرتفعات الألبية الكبرى فى غرب القارة فى المنطقة التى كان يشغلها حوض بحر الأنديز القديم. وتظهر هذه المرتفعات على شكل ثلاث شعب ثانوية تعرف باسم مرتفعات ماجدليتا Magdalena فى كولومبيا، وسانتا مارتا Santa Marta على حدود

كولومبيا ـ فنزويلا ، ومرتفعات سانتا دى ماريدا St.de Merida فى غرب فنزويلا، وتلتقى هذه الشعب الثلاث جنوباً بجوار منطقة بركان كوتوباكسى Cotopaxi فى اكوادور ، ثم تتجه الجبال على شكل قوس هائل يشرف على السهول الساحلية الغربية الضيقة للقارة ويزداد اتساع نطاق الجبال فى بوليفيا ويظهر بعض القمم الجبلية العالية جنوب تيتيكاكا Titecaca حيث يبلغ منسوبها نحو ٢١,٤٩٠ قدم فوق مستوى سطح البحر الحالى. ثم تمتد سلاسل المرتفعات بعد ذلك فى اتجاه شمالى جنوبى إلى أن تتلاشى فى أقصى جنوب القارة بجزيرة النار (تيرادلفويجو Tierra del Fuegu

نشأة السلاسل الجبلية

حاولت الدراسات الجيولوجية تفسير نشأة السلاسل الجبلية فوق سطح القشرة الأرضية والعوامل المختلفة التى تؤدى إلى تمعج القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية. وعنيت تلك الدراسات بعدة نقاط هامة من بينها:

أ ـ معرفة العوامل التى تؤدى إلى تمعج أجزاء القشرة الأرضية وهل هذه العوامل ثابتة أم تتغير من زمن جيولوجى إلى آخر.

ب ـ تفسير المراحل الثانوية المتعاقبة لكل دورة إلتوائية كبرى ينجم عنها تكوين سلاسل جبلية ، ومدى الارتباط بين هذه المراحل الثانوية فى التكوينات الصخرية لقارات العالم.

جـ ـ تتابع حدوث الدورات التكتونية المكونة للجبال Orogenic Cycles خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة، ثم أسباب تباين التوزيع الجغرافى للنطاقات الالتوائية فوق سطح الأرض.

وأصبح من المعروف أن السلاسل الجبلية فوق سطح قشرة الأرض ترتبط بعوامل داخلية تكتونية تحدث فى باطن الأرض وتؤثر فى تشكيل قشرة الأرض . على ذلك فإنه يلزم علي الباحث فى هذا المجال أن يحصر أفكاره فى تحديد العوامل الباطنية التى تؤدى إلى عدم استقرار مواد باطن

الأرض وأثر ذلك فى نشأة الحركات التكتونية. وعرف الباحثون فى البداية كذلك بأن باطن الأرض أعلى سخونة من مواد القشرة الخارجية للأرض ، ومن ثم فإن الحرارة الباطنية Internal Heat قد تكون هى العامل المسئول عن الاضطرابات التى تحدث فى باطن الأرض .

وعلى ذلك اعتقد الباحثون فى البداية بأن مواد باطن الأرض الساخنة فى حالة شبه سائلة أو لزجة وتتعرض للبرودة التدريجية، وينجم عن ذلك انكماش مواد باطن الأرض وتقلصها ، وتؤثر هذه العمليات فى تجعد قشرة الأرض الخارجية التى تنجذب إلى أسفل بفعل قوة الجاذبية الأرضية أو بمعنى أخر تكوين الجبال فى الثنيات المحدبة. وعرفت هذه النظرية القديمة باسم نظرية تقلص الأرض وانكماشها Contraction Hypothesis ، ويعترض هذه النظرية ما يلى

أ- تبعاً لانكماش باطن الأرض مع استمرار البرودة التدريجية لموادها فكان لابد وان تتشكل قشرة الأرض بحركات ثنى وطى عامة تشغل جميع أجزاء سطح قشرة الأرض. ولكن يتضح من دراسة التوزيع الجغرافى للنطاقات الالتوائية بأن كلا منها له نطاق خاص محدد.

ب - إذا كانت تموجات قشرة الأرض وتجعدها تعزى إلى البرودة التدريجية المستمرة لمواد باطن الأ رض وانكماشها ، فكان ينبغى أن يكون الزمن الجيولوجى الفاصل بين الحركات الالتوائية الأحدث عمراً أطول بكثير منه فى الحركات الالتوائية الأقدم عمراً. ولكن نجد فى الواقع أن طول الزمن الجيولوجى الفاصل بين الحركات الالتوائية يختلف من دورة إلى أخرى. فيبلغ طول الزمن الجيولوجى الفاصل بين الحركة الكارنية والكاليدونية نحو ٢٠٠ مليون سنة، وفيما بين الكاليدونية والهرسينية نحو ١٢٥ مليون سنة وفيما بين الهرسينية والألبية نحو ٢٢٥ مليون سنة . ويلاحظ أن الحركة الألبية الأخيرة كانت اشد قوة وأثراًعن الحركات التكتونية القديمة السابقة لها ، فى حين كان ينبغى وفقاً لنظرية الانكماش

التدريجى لباطن الأرض بفعل البرودة التدريجية المستمرة أن تكون الحركات التكتونية القديمة هى الأقوى أثراً عن تلك الأحدث منها عمراً

وهكذا اصبح لا يمكن قبول النظرية التقليدية حول إنكماش باطن الأرض علمياً ، كما اصبحت هذه النظرية مرفوضة علمياً تماماً بعد أن اكتشف اللورد رايليه Lord Rayleigh فى عام ١٩٠٦ تأثير العناصر المشعة Radioactive Elements فى توليد حرارة عالية جداً وكامنة فى الصخر، ومن بين مئات العينات الصخرية التى جمعت من قارات العالم المختلفة وفحصها اللورد رايليه تبين أنه لم تخلو عينه واحدة من تلك العناصر المشعة المولدة للحرارة. ومن ثم استنتج العلماء بأنه فى الوقت الذى تتعرض فيه مواد باطن الأرض للبرودة التدريجية ولعمليات التقلص والانكماش ، فإنه فى بعض أجزائها الأخرى يتولد فيها حرارة عالية جداً نتيجة لتفاعل العناصر المشعة.

وادت هذه المعلومات الجديدةإلى تعديل نظرية تقلص باطن الأرض القديمة وظهور نظرية جديدة تعرف باسم نظرية التيارات الحرارية الصاعدة أو نظرية أرثر هولمز الذى أقترحها فى عام ١٩٣١

نظرية التيارات الحرارية الصاعدة Convection Theory

يقصد بالتيارات الصاعدة التيارات الحرارية الناتجة عن تفاعل العناصر المشعة مثل الثوريوم والرابيديوم والبوتاسيوم والصوديوم، ويشتد تأثير هذه التيارات فى مواد الأرض عندما تكون فى حالة لزجة وشبه سائلة عنها فى الصخور المتجمدة الباردة.وأكدت نتائج الدراسات الجيولوجية بأن مواد الأرض صلبة أو متجمدة حتى عمق ٣٠٠ كم من السطح ، ولكن فيما بعد هذا العمق تصبح المواد لزجة ومرنة Plastic وشبه منصهرة بفعل الحرارة الباطنية.

وقد سعى أرثر هولمز فى جميع كتاباته (١) تحقيق نقطتين هامتين هما:

(1) a) Holmes, A., " Radioactive and earth movements " Trans. Geol. Soe. Glasgow, vol.18(1931)p.559-630.

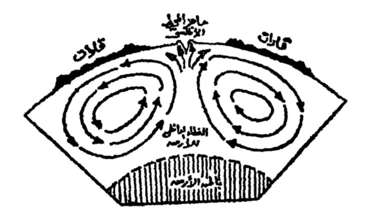
b) " The Thermal history of the earth ". Jour. Washington. Acad. Sci., Vol.23 (1931) P.169-495.

c) " Physical Geology ", London (1959), p,406-413.

١- تجمع اليابس فى المناطق القطبية وتكوين قارات قطبية Polar Continents، فى حين يتكون فى المناطق الاستوائية بحار واسعة Equatorial Oceans ويعزى السبب فى ذلك إلى حركة التيارات الحرارية الصاعدة فى المناطق القطبية والهابطة فى المناطق الاستوائية.

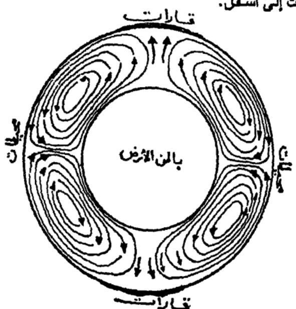
٢- يزداد تكوين المواد المشعة فى صخور الجرانيت ، كما تعمل التيارات الحرارية أسفل التكوينات الجرانيتية وصخور السيال العالية السمك على رفع هذه التكوينات الأخيرة إلى أعلى وتكوين القارات، فى حين يقل تأثير المواد المشعة فى صخور السيما المحيطية. وعلى ذلك فتتكون أسفل المحيطات تيارات حرارية صاعدة أقل قوة من تلك أسفل القارات، وتتجمع التيارات الصاعدة فى القسم الأوسط من المحيطات ، ونتيجة لذلك تتكون الحواجز المحيطية Submarine Ridges ثم تنحرف التيارات فى اتجاهين متضادين من أواسط المحيطات وتصبح تيارات هابطة على جانبى المحيطات (بعد برودتها) ويساعد ذلك على تكوين الخوانق المحيطية العميقة(شكل ١٦٦) Deep Sea Trenches

وقد عمل على تحقيق دراسات هولمز كثير من الكتاب فاهتم الباحث بيكريس Pekeris بدراسة اتجاهات وتحرك التيارات الحرارية الباطنية، وتنوع قوتها، وأثر ذلك فى التوزيع الجغرافى لليابس والماء من ناحية وتكوين السلاسل الجبلية من ناحية أخرى. ويلاحظ بأن نتائج دراسات كل من هولمز ، وبيكريس تتفق مع دراسات دالى Daly فى نظريته عن انزلاق القارات Sliding of the continents ، ومع دراسات فجنر Wegener فى نظريته عن زحزحة القارات ، حيث اتفق الجميع على أن اليابس كان متجمعاً فى المناطق القطبية وشغلت البحار الجيولوجية القديمة المناطق الاستوائية. ودرس بيكريس تحرك التيارات الحراريةالصاعدة ورجح بأنها تتحرك بمعدل بوصة واحدة فى العام. ولكن تبعاً لطول عمر كوكب الأرض، نجحت هذه التيارات فى أن تكون لها نظام خاص يتضح فى (شكل ١٦٧)، وتتغلغل هذه التيارات الحرارية الصاعدة فى مواد باطن الأرض كمثل التيارات الحرارية فى طبقات الغلاف الجوى .



شكل (١٦٦) تكوين التيارات الصاعدة تحت القارات وتكوين الحواجز المحيطية في أواسط المحيطات بفعل تيارات صاعدة أقل قوة. وتتميز أعالي تلك الحواجز بتشكيلها بمناطق حوضية عميقة.

وأوضح بيكريس كذلك بأن هذه التيارات الصاعدة يمكن لها أن ترفع قشرة الأرض الخارجية إلى أعلى وينجم عن ذلك تكوين القارات والسلاسل والحواجز المحيطية، في حين تؤدي في مناطق أخرى إلى تكوين البحار والأحواض عند هبوط التيارات إلى أسفل.



شكل (١٦٧) تحرك التيارات الحرارية الصاعدة في باطن الأرض وأثرها في تكوين القارات القطبية والمحيطات الاستوائية حسب دراسات بيكريس.

آراء الأستاذ جريجز Griggs والتيارات الحرارية الصاعدة:

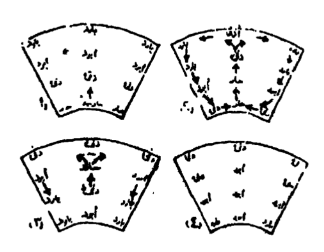
يعزى الفضل فى انتشار نظرية التيارات الحرارية الصاعدة إلى الأبحاث التى قام بها الأستاذ جريجز D.T. Grigges,1939 الأمريكى(١) الذى أخذ على عاتقه تفسير آراء الأستاذ هولمز البريطانى مؤسس نظرية التيارات الحرارية الصاعدة.

وأوضح جريجز بأن مواد الأرض باطن الأرض ليست مرنة تماماً وتختلف درجة مرونتها ولزوجتها من جزء إلى أخر وعلى ذلك فلا تتحرك التيارات الحرارية الصاعدة بحرية تامة فى هذه المواد ، كما تختلف سرعتها وقوتها من جزء إلى أخر. ورجح جريجز بأن التيارات الصاعدة تبدأ ضعيفة Slowly ، ثم تزداد حركتها Speed up بالتدريج إلى أن تصل إلى أعلى قوة لها Maximum ، ثم تتعرض للبرودة بعد ذلك ، وتضعف حركتها Slow down إلى أن تتلاشى نهائياً Stops . ولكن قد تعيد التيارات الحرارية الصاعدة دورتها من جديد أو تعمل على بداية دورة جديدة قبل أن تتم الدورة الأولى مراحلها وذلك تبعاً لنشاط العناصر المشعة فى باطن الأرض . وميز جريجز أربع مراحل رئيسية للدورة الكاملة من دورات التيارات الصاعدة وتتخلص فيما يلى: (٢)

أ - **المرحلة الأولى**: تمثل بداية تكوين التيارات الصاعدة البطيئة الحركة Slowly accelerating currents . وتستغرق هذه العملية نحو ١٣٥ مليون سنة (شكل ١٦٨ - ١) . وتتجه هنا التيارات من أسفل إلى أعلى أى من المناطق الساخنة إلى الأخرى الباردة.

1- Griggs, d., " The Theory Of The Mountain Building ", Amer. Jour . Sci ., vol. 137 (1939), 611-650.

2- Gilluly, J.etal, " Principles of Geology ", N.T. (1959), 445 449..

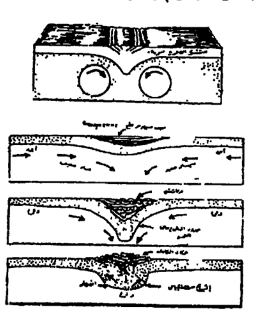


شكل (١٦٨) مراحل دورة كاملة للتيارات الصاعدة حسب دراسات الأستاذ جريجز Griggs

ب - المرحلة الثانية: تمثل ازدياد سرعة التيارات الحرارية Rapid Currents وفيها تزداد حركة التيارات فى القسم الأوسط من مواد باطن الأرض وتندفع إلى أعلى من المناطق الساخنة إلى المناطق الباردة . وعندها تتجه التيارات شرقاً وغرباً وتهبط إلى أسفل لتحل محل التيارات التى تصعد إلى أعلى وتستغرق هذه العملية من ٥إلى ١٠مليون سنة (شكل ١٦٨-٢).

جـ - المرحلة الثالثة: تمثل انخفاض سرعة التيارات الحرارية Decel-erating Current ، وفيها تتميز تلك التيارات بضعفها النسبى وتدنى القوى الحرارية الدافعة لها. ومن ثم لا تصعد التيارات إلى أعلى نحو المناطق الباردة تماماً كما كانت فى المرحلة السابقة، بل لا تستطيع أن تتم دورتها إلى أعلى وتبدأ عمليات هبوطها إلى أسفل قبل أن تصل إلى المناطق الباردة العلوية، وتقتصر حركة التيارات الصاعدة فى القسم الأوسط فقط من مواد باطن الأرض التى تعرضت للتفاعل الحرارى الراديومى، أما الأطراف الهامشية فتكون شبه باردة وتسغرق هذه العملية نحو ٢٥مليون سنة . شكل ١٦٨ - ٣).

د - المرحل الرابعة : وتمثل مرحلة التوقف التام لحركة التيارات الصاعدة Quiescence وفيها تبردمواد باطن الأرض ، ويتلاشى فيها تماماً تأثير تفاعل العناصر المشعة ، وتصبح المناطق السفلية من تلك المواد التى تعرضت لهذه العملية أبرد من المناطق العلوية. وتستغرق هذه العملية زمناً طويلاً يقدر بنحو ٥٠٠ مليون سنة. ولكن ينبغى أن نضع فى الحسبان بأنه من الصعب أن تستقر مواد باطن الأرض بهذا الشكل خلال ذلك الزمن الجيولوجى الطويل دون أن تتجدد تفاعلات العناصر المشعة فى مواد باطن الأرض من جديد (شكل ١٦٨-٤) وقد أوضح جريجز عن تفسير قشرة الأرض الخارجية وتكوين جذور المرتفعات الجبلية فى أشكال تصورية توضيحية (شكل ١٦٩) . وفى هذ الأشكال يرتبط نمو السلاسل الجبلية على سطح الأرض بمراحل دورات التيارات الصاعدة كما تحقيق نتائج هذه النظرية بدراسة تجريبية عملية فعند تسخين مادة الجليسرين (ترمز إلى مواد باطن الأرض) يتكون فيها عند البداية موجات



شكل (١٦٩) أثر التيارات الصاعدة فى تكوين السلاسل الجبلية (الأشكال الثلاثة السفلية) أما المنظور العلوى فيوضح التيارات الحرارية الصاعدة التى حدثت فى مواد زيت محرك الأسطوانات والجلسرين فى المعمل .

التيارات الصاعدة، وعند صعود التيارات إلى أعلى تؤثر فى تشكيل المود العلوية التى عملها جريجز من زيت محرك الاسطوانات المختلط مع الأتربة والرمال(ترمز إلى مواد قشرة الأرض) وتكون جذور المرتفعات كمثل تلك التى تحدث تماماً فى قشرة الأرض على الطبيعة. (المنظور المجسم العلوى من شكل ١٦٩) ولتحقيق نفس النتائج السابقة بصورة تجريبية عملية استخدم الأستاذ بول Bull A. J المطاط وعرضه لعمليات التخسين ومن ثم تكون فوق سطحه تجعدات محدبة وأخرى مقعرة بفعل تيارات حرارية صاعدة تكونت داخل مادة المطاط[١].

وقد استخدم كل من الأستاذ هيس Hess, H,H. [٢] فى عام ١٩٤٦، والأستاذ ديتز Dietz, R. S. فى عام ١٩٦١ ، نظرية التيارات الحرارية الصاعدة فى تفسير تكوين الحواجز المحيطية الكبرى Submarine فى اواسط المحيطات بفعل التيارات الصاعدة وتكوين الخوانق المحيطية العميقة Deep Sea Trenches على جوانب المحيطات بتأثير التيارات الهابطة[١]

المظهر الجيولوجى العام لبعض الجبال الالتوائية

بعد هذا العرض العام لنشأة السلاسل الجبلية الالتوائية والحركات التكتونية التى أدت إلى ظهورها فوق سطح الأرض خلال أزمنة جيولوجية مختلفة يحسن أن نشير بإيجاز كذلك إلى بعض نماذج لهذه المجموعة من الجبال كأمثلة تطبيقية لإيضاح المظهر الجيولوجى العام لبعض السلاسل الجبلية الالتوائية ، ومن ثم سنشير إلى مرتفعات الإبلاش الهرسينية فى شرق أمريكا الشمالية ، وبعض أجزاء من سلاسل مرتفعات الألب الموسينية (الألبية) فى أواسط أوربا.

---

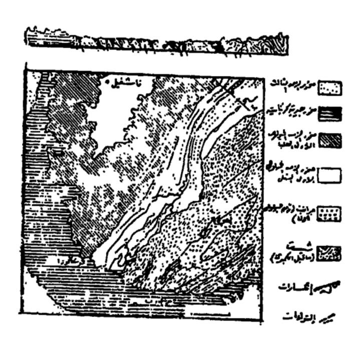
(1) Bull, A.J., " The Pattern of a contracting earth ", Geol. Mag. (1932) p.73.
(2) Hess, H.H., " Drawned ancient islands....", Amer. Jour. Sci. Vol.224 (1946) p.761-772.

أولاً - مرتفعات الابلاش

أكد معظم الجيولوجيين بأن نشأة مرتفعات الإبلاش تعزى إلى دور ساليا Saalian (من أدوار الإلتواءات الهرسينية) ومن ثم ظهرت فوق سطح الأرض أساساً خلال نهاية العصر البرمى . وتمتد الطبقات الصخرية الالتوائية لمرتفعات الإبلاش من تحت الرواسب البحرية لسهل الباما فى الجنوب إلى شبه جزيرة نوفاسكوتشيا فى الشمال، أى لمسافة يزيد طولها عن ١٥٠٠ ميل ، حيث تختفى تلك الصخور الالتوائية أسفل الرفارف القارية للمحيط الأطلسى. وتمتد محاور الالتواءات وأسطح الصدوع فى نفس هذا الاتجاه العام أى من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى. وأوضحت الدراسات الجيولوجية بأن جوانب الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة بالقسم الشمالى من الإبلاش تتميز باتساعها تبعاً لضعف ميل الطبقات الصخرية على جانب الثنيات الصحرية المختلفة، فى حين تتميز جوانب الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة بالقسم الجنوبى من الإبلاش بضيق أبعادها وتقاربها فيما بينها تبعاً لشدة ميل الطبقات الصخرية على جانبى الثنيات الصخرية المختلفة.

وأهم ما يميز نظام بنية صخور مرتفعات الإبلاش تشكيلها بالصدوع الجانبية والزاحفة التى عملت على تقسيم الطبقة الصخرية الواحدة وزحزحتها لمسافات تزيد عن عشرات الأميال ومن أجمل أمثلة الصدوع الجانبية والزاحفة تلك التى تتمثل فى المنطقة الواقعة بين ناشفيل Nash-ville فى الشمال، ومنتجمرى Montgomery فى الجنوب . وتظهر هذه المجموعة من الصدوع فى الصخور السفلى من الزمن الجيولوجى الأول والتى تقع فيما بين صخور شيست ما قبل الكمبرى فى الجنوب والصخور العليا للزمن الجيولوجى الأول فى الشمال . وتمتد نحو ثمانية أشرطة من أسطح الصدوع الجانبية فيما بين بلدة نوكسفيل Konxville فى الشمال الشرقى حتى بلدة تاسكالوزا Tuscaloosa فى الجنوب الغربى أى مسافة تزيد عن ٢٠٠ ميل ٠شكل ١٧٠)

(1) Dietz, R.S., " Continental and Oceam basins ", Nature, vol.190(1961).



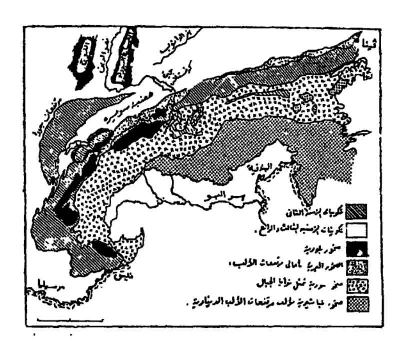
شكل (١٧٠) خريطة جيولوجية عامة للقسم الجنوبى من مرتفعات الإبلاش ويتضح من هذه الخريطة وقطاعها الجيولوجى تكرر حدوث الطبقات الأردوفيشية (حوالى ثمان مرات) فى منطقة توكسفيل بفعل الصدوع الزاحفة والعرضية.

كما تتشكل مرتفعات الإبلاش كذلك بثنيات صخرية محدبة غير متماثلة الجوانب Asymmetrical folds حيث تميل الطبقات الصخرية ببطء نحو الشمال الغربى وبشدة نحو النحو الشرقى . وتبعاً للعمر الجيولوجى الطويل لمرتفعات الإبلاش فقد تمكنت عوامل التعرية المختلفة من تسوية هذه المرتفعات وتشكيلها بسهول تحاتية جبلية متعددة. كما أزيلت كثير من الثنيات الصخرية المحدبة وتجمعت فتات صخورها فوق الثنيات الصخرية المقعرة ، ومن ثم انقلب مظهر السطح الأصلى Inver-sion of relief

ثانياً - مرتفعات الألب

يطلق اسم مرتفعات الألب على ذلك النطاق الجبلى الكبير الذى يمتد على شكل قوس فيما بين مدينة نيس على ساحل البحر المتوسط فى الغرب وضواحى إقليم مدينة فينا فى الشرق، وتختفى الطبقات الالتوائية أسفل الفرشات الإرسابية التى تؤلف سهول المجر .

وتعد مرتفعات الألب جزءاً صغيراً من مرتفعات حزام المرتفعات الألبية - الهيملايا والتى تمتد من مرتفعات البرانس فى أوربا غرباً إلى مرتفعات أندونسيا شرقاً . وتتشابه مرتفعات الألب مع مرتفعات الإبلاش فى أن الطبقات الصخرية فيهما قد تجمعت فى أحواض بحرية تكتونية كبرى Geosynclines، إلا أن صخور جبال الألب تعزى إلى تكوينات الزمن الجيولوجى الثانى وأوائل الزمن الجيولوجى الثالث، بخلاف صخور مرتفعات الإبلاش التى ترجع إلى الزمن الجيولوجى الأول. ويعد التركيب الجيولوجى لجبال الألب معقداً إلى حد كبير وعلى الرغم من كثرة وجود الحافات الصخرية الحائطية الشكل على جانبى الخوانق النهرية والتى توضح تعاقب الطبقات الصخرية المختلفة، وتعدد الأبحاث الجيولوجية التى أجريت فى مناطق مختلفة من هذه السلاسل الجبلية، إلا أنه لا يزال هناك الكثير من المشاكل الجيولوجية لم تفسر بعد حتى اليوم . وفى نفس الوقت كذلك استطاع الجيولوجيون كشف النقاب عن الخصائص العامة لتكوينات جبال الألب ونظام بنية طبقاتها الصخرية المختلفة . ويوضح (شكل ١٧١) التركيب الجيولوجى العام لمرتفعات الألب الأوربية تبعاً لأحدث ما وصلت إليه نتائج الأبحاث الجيولوجية. وسنشير فى حديثنا التالى إلى التركيب الجيولوجى لبعض أجزاء جبال الألب وخاصة القسم الغربى منها والذى يتمثل فى سويسرة وفرنسا (مرتفعات جورا والهضبة السويسرية و مرتفعات بريلبس والسلاسل الجيرية العليا لمرتفعات الألب) ، حيث يضم هذا القسم من سلاسل مرتفعات الألب معظم المميزات الجيولوجية التى تتشكل بها هذه الجبال.



شكل (١٧١) التركيب الجيولوجى العام لمرتفعات الألب الأوربية

جبال الألب الغربية :

أ- مرتفعات جورا: The Jora Mountian

تمتد مرتفعات جورا فيما بين مرتفعات الغابة السوداء والفوج شمالاً، وهضبة سويسرة جنوباً وتتألف من صخور متنوعة يعزى معظمها إلى الزمن الجيولوجى الثانى. وقد تأثرت هذه التكوينات بثنيات صخرية محدبة Anticlines تنفصل عن بعضها البعض بواسطة ثنيات صخرية مقعرة عريضة الجوانب ، بسيطة الميل بحيث تبدو أحياناً على شكل طبقات شبه أفقية واسعة الامتداد وقد تأثر القسم الجنوبى من جبال الفوج بصدوع عرضية وأخرى زاحفة عنيفة وخاصة عند المناطق الهامشية فيما بين هذه الجبال والحواف الشمالية للهضبة السويسرية جنوباً.

ومن نتائج الدراسات التى قام بها بكستورف Buxtorf فى مرتفعات جورا فى عام ١٩٠٨ تبين أن هذه الجبال تقع فوق صخور ترياسية قديمة

لم تتأثر بفعل الحركات الميوسينية . وأكد بكستورف بأن هناك كثيراً من الصخور المختلفة العمر الجيولوجى بمرتفعات الألب لم تتأثر بصورة مباشرة فى جميع اجزائها بفعل حركات الرفع التكتونية الألبية. وعلى سبيل المثال تبين أن صخور الميوسين فى مرتفعات جورا تعرضت لفعل الالتواءات فى حين نجد صخور الميوسين فى الهضبة السويسرية الواقعة إلى الجنوب منها لم تتأثر كثيراً بهذه الحركات التكتونية.

ب - الهضبة السويسرية: The Swiss Plateau

تمتد الهضبة السويسرية فيما بين مرتفعات جورا فى الشمال الغربى، ومرتفات الألب فى الجنوب ، ويتمثل فيها بحيرات واسعة أهمها جنيف (ليمان) ، وزيورخ وكونستانس، ونيشاتل . وتتألف صخور هذه الهضبة العالية من تكوينات الزمن الجيولجى الثالث وتتركب من الحجر الرملى وصخور المجمعات الخشنة والتى تكونت حبيباتها تبعاً لتعرية صخور الألب الواقعة إلى الجنوب من هذه الهضبة.

وتحتل الهضبة السويسرية ثنية صخرية مقعرة عريضة الجوانب Broad Syncline ، إلا ان أطراف هذه الثنية تشكلت بحركات تكتونية مختلفة، ومن ثم تبدو على شكل مجموعات من الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة الثانوية وخاصة عندما تقترب حواف الهضبة من جبال جورا فى الشمال أو من سلاسل مرتفعات الألب فى الجنوب.

جـ - مرتفعات بريلبس : The Prealps

تمتد مرتفعات بريلبس فيمابين الهضبة السويسرية والسلسلة الجيرية الرئيسية لمرتفعات الألب، ويتراوح ارتفاعها من ٣٥٠٠ إلى ٦٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر . وأهم ما يميز هذه المرتفعات جيولوجيا ظهورها على شكل حافات حائطية الشكل هائلة الارتفاع.

وقد تأثرت هذه الحافات الصخرية الأخيرة بفعل الصدوع الزاحفة التى عملت على زحزحة الطبقات الصخرية القديمة مسافات بعيدة وجعلها

تبدو فوق الصخور الأحدث منها عمراً . (شكل ١٧٢)

وقد دلت الدراسات الجيولوجية على أن هذه الحافات الصخرية تتركب من تكوينات الزمن الجيولوجى الثانى ثم تعرضت للعمليات الالتوائية - الصدعية الزاحفة خلال بداية الزمن الجيولوجى الثالث ومتراكبة بصورة غير متوافقة فوق صخور الزمن الجيولوجى الثالث والتى تتركب منها الهضبة السويسرية.

وقد ساهمت عوامل التعرية الشديدة على إزالة غطاءات واسعة من الكتلة الالتوائية الانكسارية الزاحفة لمرتفعات بريلبس، وبقيت الحافات الصخرية الصلبة على شكل جزر صخرية قديمة منعزلة يحيط بها صخورأحدث عمراً. ويطلق على مثل هذه الحافات الصخرية المنعزلة الناتجة بفعل الصدوع الزاحفة Overthurst faults اسم « الحافات المنعزلة» Klippes ، وتعرف بالألمانية Klippen وقد ساعد التركيب الجيولوجى لبعض الحافات الصخرية المنعزلة الناتجة بفعل الصدوع الزاحفة إلى الشرق من بحيرة لوسرن (ميثين Mythen - وروتنفلو Rotehfluch) وإلى الجنوب منها (ستانسرهورن Stanserhorn . وبوشرهورن Boucher horn إلى انتشار ظاهرة الجزر الجبلية المنعزلة

د - سلاسل الصخور الجيرية العليا لمرتفعات الآلب والهضاب النارية:

تتغطى السلاسل الجبلية الألبية بطبقات من الصخور الجيرية تعرف باسم الصخور الجيرية العليا الألبية . High Limestone، وقد عملت الصدوع الزاحفة على رفع هذه الصخور الأخيرة وزحفها ، وجعلها تحتل أعالى الطبقات الصخرية المختلفة وخاصة صخور هضبة أجويل روج البركانية Aiguilles Rouge Massif. ويوضح (شكل ١٧٢) خريطة جيولوجية للتكوينات الصخرية بجبال الألب الواقعة إلى الجنوب الشرقى من بحيرة جنيف ، ويتبين من هذه الخريطة أن الطبقات الصخرية قد إنثنت بشدة وتعرضت لعمليات الإلتواءات والصدوع الزاحفة ، وأصبحت تبدو على شكل كتل صخرية زاحفة فوق بعضها البعض ، وتعرف هذه

الغطاءات الصخرية الزاحفة بالفرنسية باسم Nappe , وبالألمانيةDecken



(شكل ١٧٢) خريطة جيولوجية لجبال الألب إلى الجنوب الشرقى من بحيرة جنيف

وتتألف تكوينات هضبة أجويل من الصخور النارية والمتحولة ومنها الجرانيت والبازلت والشيشت والنيس . ومن أجمل الصخور المتحولة فى هذه المنطقة تلك التى تتألف منها تكوينات جبل مون بلان Mont Blanc بالأطراف الجنوبية من تلك الهضبة .

وعلى ذلك يمكن القول بأن جبال الألب تتألف من كتل صخرية هائلة السمك ، أرسبت فى بحار جيولوجية حوضية عميقة ، ثم تعرضت بعد ذلك لحركات رفع تكتونية متعددة ومتعاقبة كان أشدها تلك التى حدثت فى أواسط عصر الميوسين . وأدت هذه الحركات إلى ثنى الطبقات الصخريةوإلتوائها كما حدثت الصدوع المختلفة وخاصة الزاحفة منها ، فى مناطق الضعف الجيولوجى بهذه الجبال ، وعملت هذه الصدوع بدورها على زحزحة الطبقات وتباين مواقعها وظهور الطبقات الصخرية الحديثة ، وتكوين ما يعرف باسم القمم أو الكتل الغطائية الزاحفة .

الفصل الحادي عشر
الجبال والتلال والهضاب
أولاً - الجبال

يقصد بتعبير الجبال Mountains الأراضى ذات القمم الهرمية الشكل التى تبدو مرتفعة المنسوب لما يجاورها من أراضى . ويحدد بعض الجيولوجيين بأن الجبال تقع عادة فوق منسوب ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر، أما تلك الأراضى التى تقع أسفل هذا المنسوب فتعرف باسم التلال Hills . ولكن من دراسة التوزيع الجغرافى للجبال واختلاف منسوبها لسطح البحر تبين أن من بين أهم ما يبرزها بالنسبة لما حولها من الأراضى المختلفة هو بلا شك زيادة منسوبها عن تلك الأراضى المجاورة لها وشكلها الهرمى . وعلى ذلك يظهر الجبل على شكل هرمى أو بمعنى آخر تبدو المناطق السهلية عند قممه العليا محدودة الامتداد بالنسبة لارتفاع الجبل أو امتداده الرأسى فوق سطح الأرض المجاورة والذى يحدد بواسطة معرفة طول المسافة المحصورة بين أعالى الجبل وأقدامه السفلى وقد يظهر فى بعض المناطق قمم جبلية متجاورة تمتد على شكل سلسلة متصلة أو منفصلة الأجزاء. وتتألف كل من هذه السلاسل الجبلية من كتلة جبلية عالية بالنسبة لمنسوب سطح الأرض المجاورة وكثيراً ما يبدو فوق أعالى كل من هذه السلاسل الجبلية قمم جبلية عالية هرمية الشكل.

ولا تختلف الجبال والسلاسل الجبلية فيما بينها من حيث التوزيع الجغرافى والشكل العام فقط بل كذلك من حيث نشأتها والعوامل التى أدت إلى ظهورها وتكوينها ، والأزمنة الجيولوجية التى ظهرت خلالها وقد اعتاد الجيولوجيون تصنيف مجموعات الجبال والسلاسل الجبلية تبعاً لظروف نشأتها، وتنحصر مجموعات الجبال تبعاً لذلك فيما يلى:

(أ) الجبال البركانية Volcanic Mountains

تتألف الجبال البركانية أساساً من المخروطات البركانية Volcanic Cones. وعلى الرغم من انتشار الطفوح والمصهورات البركانية فى أجزاء

واسعة من سطح الأرض إلا أن الجبال البركانية تعد محدودة الإنتشار . ويعزى السبب فى ذلك إما إلى ظهور معظم المصهورات البركانية فوق سطح الأرض على شكل غطاءات وهضاب لافية، أو إلى تعرض المخروطات البركانية لفعل عومل التعرية الخارجية وإزالتها خاصة بعد توقف النشاط البركانى وانخماده.

ويرتبط التوزيع الجغرافى للجبال أو المخروطات البركانية بمناطق الضعف الجيولوجية كما هو الحال فى المناطق الجبلية الالتوائية الميوسينية، وفى مناطق التحام صخور السيال القارية بصخور السيما المحيطية (حد الأندسيت Andesits Line) كما هو الحال على طول هوامش المحيط الهادى وينمثل أظهر نطاق لجبال المخروطات البركانية على طول سواحل المحيط الهادى ويعرف ذلك النطاق باسم « حلقة النار» Ring of Fire ونظهر المخروطات الجبلية البركانية على طول هذا النطاق فى أجزاء متفرقة من مرتفعات الأندير بأمريكا الجنوبية وبمرتفعات أمريكا الوسطى والمكسيك (سيرامادير العربية) وبمرتفعات الكاسكيد فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية وبمرتفعات كولومبيا البريطانية كما تظهر بعض المخروطات الجبلية البركانية بقوس جزر الوشيان أما فى الجانب الغربى للمحيط الهادى فتظهر بعض المخروطات الجبلية البركانية فى كمتشتكا Kamchatka وبجزيرة كوريل وبجزر اليابان وفى أجزاء متناثرة من الجزر المحيطية فى شرق أسيا وجنوبها الشرقى وخاصة بجزر الفلبين وسنبيس وبيوغينيا وسولوى ونيو كاليدونيا وبجزر نيوزيلند(١)

إلى جانب هذا النطاق الرئيسى، تظهر الجبال البركانية كذلك فى مناطق أخرى متفرقة من بينها جزر هاواى، وجزيرة مدغشقر، وبهضبة البحيرات الاستوائية، وبراكين حوض البحر الأبيض المتوسط، وبراكين البحر الكاريبى، وبراكين جزيرة أيسلند

وتختلف أشكال المخروطات الجبلية البركانية تبعاً للتكوين

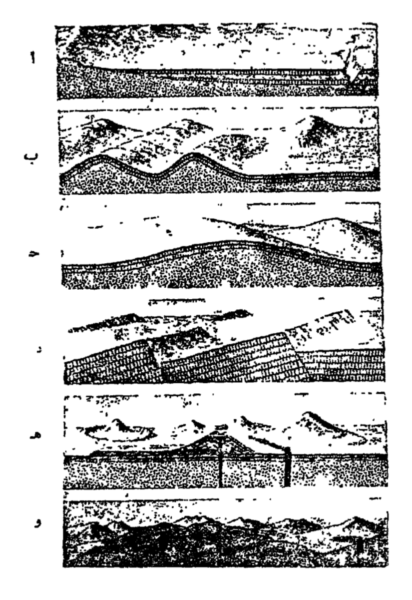
---

(١) حسن أبو العينين : أصول الجيومورفولوجيا، دار المعارف - الأسكندرية ١٩٦٦ . الطبعة الحادية عشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الأسكندرية (١٩٩٥) .

الجيولوجى للمصهورت اللافية التى تنبثق من فوهات البراكين. ومن ثم قد تظهر الجبال البركانية على شكل مخروطات بركانية بازلتية ، أو قباب بازلتية أو مخروطات تتألف من الغبار والسندر البركانى Cinder Cones أو على شكل مخروطات معقدة التركيب الجيولوجى.

وتتزايد المخروطات الجبلية البركانية فى الحجم كلما ازداد انبثاق المصهورات البركانية واللافا من فوهة البركان. وعلى ذلك قد يبدو بعض الجبال البركانية على ارتفاع عشرات الأمتار فقط من منسوب سطح الأرض المجاورة لها فى حين يظهر بعضها الآخر على ارتفاع مئات من الأمتار فوق منسوب سطح الأرض المجاورة. (شكل ١٧٣).

وعندما تنخمد الثورانات البركانية يظهر بوضوح آثار فعل عوامل التعرية المختلفة، فى تشكيل المظهر العام للمخروط الجبلى البركانى. فإذا استمرت عوامل التعرية فى نحت مخروط البركان مدة طويلة من الزمن، قد ينجم عن ذلك تساقط جدران فوهة البركان إما فى باطن الفوهة نفسها أى فى غرف الصهير القديمة أو تنزلق على السفوح الجانبية للمخروط تبعاً لأثر الانحدار وفعل الجاذبية الأرضية. وتعمل عوامل التعرية وكذلك فعل التجوية على تفتيت صخور البركان ونقل المفتتات الصخرية إلىمناطق بعيدة عن المخروطات الجبلية البركانية . وتبعاً لتوالى عمليات التآكل والنحت فى المخروط البركانى قد يزال أجزاء كبيرة من غطاءاته اللافية بالتدريج ، ولا تبقى منه فى النهاية سوى أعمدة رأسية بركانية تمثل قصبة البركان وتقف منعزلة فوق سطح الأراضى المجاورة ويطلق عليها اسم « الهياكل البركانية» Volcanic Skeleton . ومن أجمل أمثلة هذه الهياكل البركانية بقايا مخروط بركان شيبروك Shiprock فى المكسيك ، وهيكل سانت ميشيل St. Michel فى منطقة بييه فى فرنسا، وهيكل ديفلزتور The Devils Tower (برج الشيطان) فى ولاية وايومنج وكذلك الجبال البركانية القديمة العُمر الجيولوجى فى ولاية اريزونا ويوتاه ،ومرتفعات كريزى .Crazy Mts فى مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية .



شكل (١٧٣) بعض أنماط من الجبال والهضاب لاحظ من أعلى إلى أسفل ما يلي

أ- هضبة .

ب - جبال التوائية قبل أن تتعرض لعوامل التعرية.

جـ - جبال فسيحة تعرضت لعوامل رفع تدريجية قبل أن تتأثر بالتعرية.

د - جبال صدعية. هـ - جبال بركانية و- جبال مركبة النشأة.

ب - الجبال الصدعية : Faulted Mountains

قد تتكون بعض السلاسل الجبلية بفعل حركات التصدع التى تتعرض لها صخورالقشرة الأرضية . ويعد الحوض العظيم فى جبال الروكى بغرب الولايات المتحدة أظهر مثال لهذا النوع من الجبال الصدعية التى تحصر بينها أحواض صدعيةهابطة. ومن ثم يطلق الجيولوجيون على المظهر التضاريسى العام للجبال الصدعية اسم « ظاهرات الأحواض والسلاسل الجبلية الصدعية» Basin and Range Topography

وقد ميز الباحثون نوعين رئيسيين من الحافات الصخرية تتمثل بتلك السلاسل الجبلية الصدعية هما:

أ - الحافات الصدعية : Fault Planes. ويقصد بها تلك الجبال والحافات الصخرية التى نتجت أساساً بفعل الانكسارات (الصدوع) ونشأت على طول أسطح الانكسارات Fault planes.

ب - حافات أسطح الصدوع Fault Line Scarps ، ويقصد بها تلك الجبال والحافات الصخرية التى نتجت أساساً بفعل عوامل التعرية والتجوية على طول أسطح الانكسارات أو بجوارها.

ومن ثم فإن الحافات الصدعية تتكون خلال حدوث عمليات التصدع نفسها وتقف عالية فى نفس سطح الصدع ، فى حين تتشكل حافات وجبال أسطح الصدوع أساساً بعد حدوث عمليات التصدع بمدة من الزمن تكون قصيرة أو طويلة تبعاً لمدى فعل عوامل التعرية واختلاف التركيب الصخرى للمنطقة ومن ثم تتراجع الحافة الصدعية إلى الوراء حتى تظهر حافات الصدوع بعيدة عن إمتداد سطح الصدع نفسه . ومن بين أظهر السلاسل والحافات الجبلية الصدعية فى الحوض العظيم بالولايات المتحدة الأمريكية أجزاء كبيرة من سلاسل سيرانيفادا وسلاسل ستينز Stens Mts. وسلاسل واساتش Wasatch .

جـ الجبال والسلاسل الالتوائية : Uplifted Mountains

تعد الجبال الالتوائية أهم مجموعة من مجموعات السلاسل الجبلية فوق سطح القشرة الأرضية تبعاً لامتدادها الكبير وتشكيلها أجزاء واسعة من سطح الأرض. ومن ثم يحسن أن نشير إلى الخصائص العامة لهذا المجموعة من الجبال وكيفية نشأتها والأزمنة الجيولوجية التى حدثت خلالها بشئ من التفصيل. وتختلف مجموعة الجبال الالتوائية عن المجموعتين السابقتين من الجبال الأخرى حيث أن نشأتها لا ترجع إلى أثر انبثاق مصهورات لافية أو رفع كتل صخرية وهبوط أخرى بفعل الصدوع العادية والعكسية الزاحفة، ولكن تبين أن هذه المجموعة من الجبال تكونت صخورها فى أحواض بحرية تكتونية كبرى (ومن ثم تتميز صخور الجبال الالتوائية بسمكها الكبير) وبعدها تعرضت لعمليات رفع تكتونية أدت إلى ثنى الطبقات الصخرية والتوائها

وحيث تمثل هذه الأحواض البحرية التكتونية هى الأخرى مناطق ضعف جيولوجية، لذا قد تتعرض السلاسل الجبلية الالتوائية وخاصة الحديثة النشأة منها لحدوث البراكين والزلازل والصدوع فى بعض أجزاء مختلفة منها ولكن يجب أن ندرك بأن هذه العوامل التكتونية الأخيرة تعمل فقط على تشكيل مظهر الجبال الالتوائية ولا تؤدى إلى نشأتها أو تكوينها

وتختلف الجبال والسلاسل فيما بينها من جزء إلى آخر فوق سطح القشرة الأرضية ويعزى هذا الاختلاف أساساً إلى ما يلى:

(١) اتساع الأحواض البحرية التكتونية والتى تجمعت فيها رواسب ومواد هذه الجبال ، وتتشكل سمك الطبقات الصخرية وتكوينها الجيولوجى العام تبعاً لظروف تراكمها فوق أرضية الأحواض البحرية التكتونية Geosynclines .

(٢) مدى قوة الحركات التكتونية التى أدت إلى رفع الطبقات الصخرية والتوائها وتمعجها والأزمنة الجيولوجية المختلفة التى حدثت خلالها تلك

الحركات . ويلاحظ أن حركات الرفع التكتونية التى حدثت خلال ازمنة جيولوجية قديمة قد أعطت الفرصة لعوامل التعرية المختلفة أن تنحت هذه الجبال وتشكلها بظواهر متنوعة، فى حين تلك التى حدثت حديثاً لم تقدم الوقت اللازم لعوامل التعرية لكى تقوم بمثل العمل الذى قامت به فى تشكيل السلاسل الجبلية الالتوائية القديمة جيولوجياً.

ثانياً - التلال

تختلف التلال Hills عن الجبال Mountains من حيث الحجم والارتفاع بالنسبة لسطح الأرض المجاورة وإن كانتا قد تتفقا معاً من حيث الشكل العام. فالتلال عبارة عن أراضى شبه هرمية أو قبابية الشكل تبدو أعلى منسوباً من سطح الأرض المجاورة لها، ولكن لا يزيد منسوبها عن ١٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة (حسب دراسات الأستاذ جيكى Geikie) . أما الأستاذ فان ريبر J.E Van Riper فاوضح بأن منسوب التلال يتراوح من ٢٠٠ إلى ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأرض المجاورة وتزيد درجة انحدار جوانبها عن خمس درجات.

وقد أوضح الأستاذ ستامب D.L Stamp فى عام ١٩٦١ بأن الحد الفاصل والمميز بين كل من الجبال والتلال غير واضح تماماً ، ولكن يطلق تعبير «جبال» على الأراضى التى يزيد من منسوبها عن ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها ، وإذا إنخفض منسوبها عن ذلك فتدخل فى نطاق « التلال» . وقد تظهر التلال كوحدات منعزلة أو على شكل مجموعات شبه متصلة مع بعضها البعض، ومن ثم تبدو كسلاسل تلالية محدودة الارتفاع وكثيراً ما تكون مقطعة بفعل عوامل التعرية وتحتل اقدام السلاسل الجبلية الكبرى.

أما الهضاب Plateaux فهى كذلك أراضى مرتفع المنسوب فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها. ولكن من أهم ما يميز الهضاب هو أن سطحها العلوى يكاد يكون مستويا أو قليل التضاريس وواسع الامتداد بالنسبة لارتفاع الهضبة المحدود (المسافة الراسية المحصورة بين اقدام

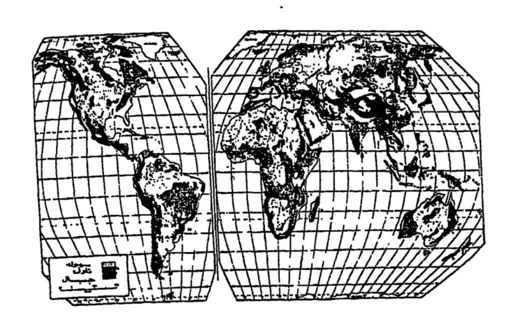
الهضبة وأعاليها). وقد أوضح الأستاذ جيمس James, P,E.1949 بأن من أهم مميزات الهضاب كذلك ظهور سطحها العلوى المسطح الشكل على مناسيب متشابهة ، فى حين أوضح الأستاذ كريسى Cressey , P B1994 بأنه على الرغم من أن الأسطح العليا للهضاب قد لا تتشكل كثيراً بفعل عوامل التعرية إلا أن جوانبها غالباً ما تبدو حائطية أو رأسية الشكل تبعاً لفعل التعرية الرأسية للأنهار التى تحف بجوانبها.

نشأة التلال:

تحتل التلال عادة النطاق الفاصل بين السلاسل الجبلية العالية والسهول المستوية السطح المنخفضة المنسوب ، ولكن قد تظهر بعض مجموعات التلال كذلك فوق الأراضى السهلية، وتعزى نشأة معظم التلال إلى ما يلى:

١- حدوث حركة ارتفاع تكتونية بسيطة فى منطقة ما ، فى نفس الوقت الذى تتعرض فيه أراضى تلك المنطقة لفعل التعرية الشديدة، ومن ثم لا ترتفع تلك الأراضى بأكثر من ٢٠٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة وتبدو على شكل تلال.

٢- تعرض المناطق الجبلية القديمة العمر الجيولوجى لعوامل التعرية المختلفة خلال فترات جيولوجية طويلة، ومن ثم لا يظهر فى النهاية سوى جذور الجبال التى تبدو على شكل مجموعات متناثرة من التلال. وعلى ذلك يلاحظ أن لمعظم السلاسل الجبلية مقدمات من مجموعات التلال تعرف باسم Foot Hills ، وقد كانت هذه التلال عبارة عن مناطق جبلية إبان مراحل نشأتها الأولى ، ولكن بحكم موقعها على هوامش المناطق الجبلية تعرضت كثيراً لفعل عوامل التعرية. (شكل ١٧٤).



شكل (١٧٤) التوزيع الجغرافى العام لكل من السهول
والتلال والجبال فوق سطح الأرض

تصنيف مجموعات التلال:

لا تتنوع مجموعات التلال فيما بينها من حيث المظهر الجيومورفولوجى فقط بل كذلك من حيث ظروف نشأتها والعوامل التى أدت إلى تكوينها وعلى أساس هذه العوامل الأخيرة يمكن أن نميز مجموعات التلال الآتية:

١- التلال التى تتمثل فوق الكتل القارية القديمة جيولوجياً:

تعد مجموعة التلال التى تتمثل فوق أجزاء الكتل القارية القديمة جيولوجياً أكثر مجموعات التلال انتشاراً فوق سطح الكرة الأرضية. وكما سبقت الإشارة من قبل تتركب هذه الكتل القارية أساساً من صخور نارية

ومتحولة قديمة العمر الجيولوجى ، وظلت بنية تلك التكوينات شبه مستقرة خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل ، وإن كانت بعض أجزائها قد تعرضت لحركات رفع تكتونية فيما قبل العصر الكمبرى وخلال الزمن الجيولوجى الأول. وقد عملت عوامل التعرية المختلفة على تعديل مظهر تلك الكتل القارية ونحت صخورها وتسوية تضاريسها، إلا أن الصخور الأشد صلابة قاومت فعل عوامل التعرية واستطاعت أن تبقى على شكل تلال صخرية منعزلة ومن ثم أصبحت تمثل بقايا هياكل المرتفعات القديمة التى كانت تتمثل فوق أسطح تلك الكتل القارية فيما قبل العصر الكمبرى.

وتتألف مجموعات التلال فوق الكتل القارية القديمة خاصة من الجرانيت الشديد الصلابة والشيست وبعض الصخور المتحولة الأخرى. وهناك ارتباط وثيق بين التوزيع العام لمجموعات التلال فوق أجزاء واسعة من الكتل اللورنشية ،وكتلة جيانا، وفوق بعض أجزاء من كتلة البرازيل ، وكتلة فينوسكنديا،وبالقسم الجنوبى من الكتلة الأفريقية، وكتلة الدكن، وكتلة غرب استراليا.ويلاحظ أن بعض أجزاء الكتل القارية تتألف من صخور رسوبية رقيقة السمك نسبياً وتعرضت لعمليات هبوط تدريجية، وعلى ذلك قد تبدو هذه الأجزاء على شكل موائد صخرية واسعة الامتداد يختلف مظهرها التضاريسى عن مظهرالمناطق غير المستقرة المجاورة لها. ومن بين أمثلة ذلك بعض أجزاء من كتلة الحبشة والقسم الغربى من كتلة البرازيل وأواسط كتلة انجارا.

وتبعاً لتنوع عوامل التعرية المختلفة التى تقوم بتشكيل المظهر التضاريسى العام للكتل القارية اليوم، تميزت التلال التى تتمثل فوقها بخصائص متنوعة. فيلاحظ أن مجموعات التلال التى توجد فوق الكتل القارية بالمناطق التى تأثرت بالتعرية الجيلدية قد تشكلت بفعل الجليد وقُشطت جوانبها بفعل الركامات الجليدية، وكثيراً ما غُطيت أسطحها بالرواسب الجليدية . كما تتفتت أجزاء التلال على طول أسطح الشقوق والفوالق بفعل تتابع التجمد والانصهار Freeze and thaw action . ومن ثم

تتاكل صخور هذه التلال باستمرار ويقل حجمها وتتشكل أسطحها ومظهرها بفعل الجليد. ومن بين أظهرأمثلة تلال هذه المجموعة تلك التى تتمثل فوق الكتلة اللورنشية (الكندية) ، وفوق كتلة فينو سكانديا.

أما مجموعات التلال التى تتمثل فوق الكتل القارية بالمناطق المعتدلة الباردة والمعتدلة ، فهذه هى الأخرى تعرضت لأثرفعل تتابع الحرارة والبرودة، ولفعل تجمد المياه فى الشقوق الصخرية خلال الفصل البارد، وانصهارها (بعد اتساع فتحات هذه الشقوق) خلال الفصل الدفئ. ومن ثم تتفتت الأجزاء العليا من صخور التلال وتنحدر إلى المناطق السفلية تحت أقدامها بفعل عمليات زحف الرواسب والصخور Rock Creep أو تساقطها Rock Fall . وقد عملت الرواسب المشبعة بالمياه Solifluction والتى تزحف من أعالى التلال إلى أقدامها على تسوية جوانب هذه التلال بحيث أصبحت تبدو مستديرة ومستوية السطح وقبابية الشكل تماماً . Well rounded knobs

وتتميز مجموعات التلال التى تتمثل فوق الكتل القارية بالمناطق الاستوائية (خاصة تلك التى تعرضت لعمليات رفع محلية بسيطة) ذات المناخ الرطب بتعرضها لفعل الأمطار الغزيرة التى تؤدى إلى تكوين مجارى نهرية شديدة العمق تحف بجوانب التلال وتعمل على تعميق الأراضى المجاورة لها. ومن ثم تبدو التلال على شكل ابراج عالية بالنسبة للأرض المجاورة لها وذلك تبعاً لشدة التعرية الراسية للإنهار التى تحيط بهذه التلال.

٢- التلال التى تتمثل بالمناطق الجبلية التى تآكلت بعض أجزاء من صخورها الرسوبية:

تتمثل فوق سطح القشرة الأرضية مناطق واسعة تتألف من طبقات صخرية رسوبية بعضها صلبة وأخرى لينة ومتراكبة فوق بعضها البعض. وقد تعرض هذه المناطق لحركات رفع تكتونية بسيطة ينجم عن ذلك ارتفاع منسوب السطح من ناحية، وشدة عمليات النحت الرأسى النهرى

من ناحية أخرى. وخلال المراحل الأولى من تقطع الصخور المختلفة الصلابة بفعل التعرية النهرية تتكون تلال هرمية الشكل تنفصل فيما بينها بواسطة خوانق نهرية عميقة، ومن ثم يبدو السطح شديد التضرس Coarse texture of dissction وخلال مراحل متتالية يشتد فعل النحت الرأسي النهرى ويزداد تعمق الأودية التعرية كما يظهر أثر فعل التعرية الجانبية وتتآكل جوانب التلال بالتدريج. وعند نهاية مراحل التطور الجيومورفولوجي للمظهر التضاريسي لهذه المنطقة، تبدو مجموعات التلال على شكل قباب شبه مستديرة الشكل ومستوية السطح، أو بمعنى أخر أقل تضرسا عما كانت عليه فى بداية تكوينها. ومن بين أمثلة مجموعات هذه التلال، تلك التى تميز مقدمات القسم الجنوبى الشرقى والشمالى الشرقى من مرتفعات الإبلاش ، وبعض مجموعات التلال فى جنوب أوربا، والتلال التى تظهر عند مقدمات مرتفعات أورال فى الاتحاد السوفيتى

٣- التلال فى مناطق الكارست[1] الجيرية:

تتلخص أهم العوامل التى تساهم فى تكوين أقاليم الكارست الجيرية فيما يلى:

أ- زيادة سمك الطبقات الجيرية المختلفة.

ب- ارتفاع مسامية الصخور واتساع الفراغات بين حبيباتها.

جـ- تأثر الصخور بفعل الشقوق والفواصل والفوالق التى سرعان ما تتسع فتحاتها بفعل التجوية وعوامل التعرية.

د- وقوع أقاليم الكارست فى مناطق رطبة تسقط عليها كميات كبيرة من الأمطار أو فى مناطق شبه جافة بشرط أن تنحدر إلى الصخور الجيرية للإقليم مياه جوفية بكميات كبيرة مهما كان مصدرها. ولكن يمكن القول أنه كلما زادت كمية التساقط فوق صخور إقليم ما ، أدى هذا إلى سرعة

---

(١) سميت المناطق الجيرية التى يظهر فيها أثر فعل عوامل التعرية والتجوية الكيميائية بشدة باسم « أقاليم الكارست » وذلك تبعاً لأظهر إقليم جيومورفولوجي جيرى فى العالم والمعروف باسم «الكارست» فى يوغوسلافيا .

انجاز عمليات التجوية الكيميائية فى الصخور الجيرية وتشكيلها بظواهر الكارست الجيرية. وفى هذه الأقاليم الجيرية كثيراً ماتعمل المياه السطحية والجوفية على إذابة أجزاء واسعة من الصخور الضعيفة التماسك فى حين قد تتبقى فوق سطح الأرض بعض الكتل الجيرية التلالية، والتى استطاعت مقاومة عمليات الإذابة والتحلل تبعاً لشدة صلابتها النسبية. ويطلق على هذه الكتل اسم التلال المنعزلة وتعرف بأسماء مختلفة منهما همز Hums فى يوغوسلافيا ، وموجوتز Mogotesفى جزيرة كوبا، وتلال بيبينو Pe-pinoفى بورتوريكو وتلال المسخوطين فى الجزائر .

وقد أوضح الأستاذ فان ريبر 1962 . J E Van Riper بأن المظهر التضاريسى والشكل العام لمجموعات التلال فى المناطق الجيرية الكارستية يختلف من إقليم إلى أخر وذلك تبعاً لتطور نشأتها والظروف التى ساهمت فى تكوينها. وعلى ذلك ميز ريبر بين مجموعتين رئيسيتين من التلال هما:

أ - تلال الأدرياتيك: وهى تلك التلال التى تميز إقليم الكارست اليوغسلافى وتتميز بأنها هائلة الارتفاع وشديدة التضرس، ونشأت أصلاً بفعل التجوية الكيميائية فى الصخور الجيرية الضعيفة التماسك وأظهر أمثلة هذه التلال تلك التى تتمثل بمرتفعات الألب الدلماشية.

ب - تلال جنوب شرقى أسيا: وهى تلك التلال التى تظهر فى الأقاليم الجيرية الكارستية ببعض أجزاء من جنوب شرقى أسيا وخاصة فى جنوب شرق الصين، وشمال الصين الهندية، وفى القسم الشمالى الشرقى من تايلاند. وتتميز هذه التلال بأنها أقل ارتفاعاً وتضرساً من تلال الأدرياتيك وتظهردائماً بالشكل القبابى، وينتمى إلى هذه المجموعة كذلك التلال الجيرية فى هضبة كوسيه بفرنسا، والتلال الجيرية التى تتمثل فوق بعض جزر البحر الكاريبى وفى بعض أجزاء من فنزويلا وشبه جزيرة يوكاتان.

٤- التلال التى تظهر على جانبى الأودية النهرية وبأعالى الحافات الصخرية المتوازية الامتداد:

قد تشاهد مجموعات أخرى من التلال على جوانب الأودية النهرية إذا ما استطاعت صخور هذه التلال أن تقاوم فعل النحت الرأسى والنحت الجانبى للأنهار .وتختلف أشكال التلال فى هذه الحالة تبعاً للتركيب الصخرى ونظام بنية الطبقات من ناحية ومراحل تطورها الجيومورفولوجى من ناحية أخرى. كما قد تظهر التلال كذلك مجاورة لأقدام الحافات الصخرية المتوازية Paraller Ridges ، بل قد تظهر أحياناً فوق أعالى هذه الحافات . وتعزى نشأتها أساساً إلى تباين فعل التعرية وتقطع جوانب الحافات وأعاليها بالأودية الجبلية القديمة المتوسطة المنسوب فوق مستوى سطح البحر.

بالإضافة إلى هذه المجموعات الرئيسية من التلال السابقة الذكر تجدر الإشارة كذلك إلى مجموعات أخرى من التلال تظهر بصورة محلية فى مواقع مختلفة وتحت ظروف خاصة ، ولكن يصعب وضعها على خريطة للعالم ذات مقياس صغيرة تبعاً لامتدادها المحدود وشغلها مناطق محدودة المساحة. فقد تظهر التلال فوق بعض أجزاء من السهول الفيضية الرسوبية عندما لا تستطيع المجارى النهرية أن تنحت جميع التكوينات الجيولوجية التى تتمثل فوق أرضية السهل الفيضى. ومن بين أظهر هذه المجموعة من التلال ، تلك التى تتمثل فوق بعض أجزاء من السهول الفيضية لأودية المسيسبى ، وأيراوادى، وسالوين وميكونج. كماتظهر مجموعات أخرى من التلال خاصة فوق مناطق السهول الجليدية (وخاصة بجوار الركامات الجليدية) ، وفى الناطق الصخرية الوعرة Badlands ، وفى مناطق سهول الحمادة الصخرية بالصحارى الحارة الجافة . كما تظهر التلال كذلك فوق الهضاب والسهول البركانية النشأة وفوق الحواجز والجزر المرجانية.

ثالثاً - الهضاب

من الصعب تحديد إرتفاع الهضاب تبعاً لمنسوب معين فوق مستوى سطح البحر، ولكن يقصد بتعبير « هضاب» مناطق واسعة من سطح الأرض ترتفع فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها وتتميز بأن أسطحها العليا شبه مستوية السطح وأن جوانبها شديدة الانحدار وتبدو حائطية الشكل فى معظم الأحيان. وعلى ذلك تختلف الهضاب فيما بينها من حيث الشكل التضاريسى العام والحجم والامتداد والتكوين الجيولوجى لصخورها والنشأة والتطور الجيومورفولوجى وعلى أساس اختلاف نشأة الهضاب وظروف تكوينها يمكن أن نميز المجموعات الهضبية الكبرى الآتية

١- الهضاب البركانية Volcanic Plateaux

تظهر بعض الهضاب فوق سطح الأرض احياناً وهى تتألف من مصهورات ومواد لافية انبثقت من باطن الأرض ويجرى ظهورها على شكل غطاءات لافية هضبية إلى خروج اللافا واندفاعها من باطن الأرض خلال فتحات وشقوق كثيرة وفوهات متعددة ومن ثم لا تتجمع اللافا من فوهة واحدة لتكون ظاهرة المخروط البركانى بل تنحدر اللافا فوق سطح الأرض وتتجه من المنحدرات العليا إلى المناطق السفلى وتغطى الأرض بفرشة سميكة من الطفوح البركانية ويتوقف اتساع هذه الهضاب البركانية تبعاً لمدى حجم المصهورات اللافية التى تندفع من باطن الأرض من ناحية ،ومدى توالى حدوث الثورانات البركانية أو استقرارها ،وانحمادها من ناحية أخرى. ويطلق الأستاذ بولارد F M Bullard [1] على عملية انبثاق المصهورات اللافية خلال الشقوق الصخرية الكثيرة اسم نوع ثورانات أيسلند البركانية Icelandic Type حيث تتمثل أظهر أمثلة هذا النوع من الهضاب البركانية فوق أجزاء واسعة من جزيرة أيسلند.

---

(1) Bullard, F M., " Volcanoes in history , in theory, in eruption ", Univ Texas Press, (1972)

وأكد بولارد أن هذه الثورانات البركانية تندفع من الشقوق الصخرية، وتنبثق إلى السطح لتكون غطاءات هائلة الحجم من المصهورات اللافية تغطى مساحات واسعة من سطح الأرض. ويعزى عدم قدرتها على تكوين مخروطات بركانية إلى أن اللافا تتكون من مصهورات بازلتية شديدة الميوعة من ناحية، هذا إلى جانب خروجها عن طريق الشقوق الكثيرة المتعددة من ناحية أخرى. ولا يتحتم انبثاق اللافا من الشقوق العديدة خلال مرحلة واحدة بل تنبثق المصهورات البركانية خلال مراحل مختلفةمتعاقبة تبعاً لكيفية حدوث الثورانات الداخلية فى باطن الأرض نفسها. ومن ثم ليس من الغريب أن نجد بعض أجزاء من الهضاب البركانية المستقرة والتى تشكلت بفعل التعرية تتعرض من جديد لحدوث انبثاقات اللافا خلال فتحات الشقوق والفوهات المتعددة وتتغطى تكويناتها بغطاءات جديدة من اللافا الحديثة العمر الجيولوجى . ومن أحسن أمثلة هذه المجموعة من الهضاب تلك التى تتمثل فى جزيرة ايسلند، والهضاب البركانية الواسعة الامتدادفى حوض كولومبيا فى شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية . وتنتشر الهضاب البركانية (فى هذه المنطقة الأخيرة) فى أجزاء واسعة من ولايات واشنجتن، وأوريجون، وكاليفورنيا،وإيداهو، وتغطى مساحة تزيد عن ٢٠٠,٠٠٠ ميل مربعاً ،وهضاب شيلى البركانية التى تشمل مناطق واسعة من جنوب غرب أمريكا الجنوبية.

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الهضاب البركانية كذلك القسم الشمالى الغربى من هضبة الدكن فى شبه القارة الهندية الباكستانية، وهضبة دراكنزبرج فى جنوب أفريقيا وهضبةبرانا فى جنوب البرازيل ، والهضاب البركانية فى اورجواى ، والأرجنتين، وبالقسم الأوسط من الجزيرة الشمالية لنيوزيلند ،وهضبة الحبشة البركانية وهضيبات اليمن، وهضبة حوران،والهضاب البركانية إلى الشرق من بحيرتى طبرية والحولة فى القسم الجنوبى الغربى من سوريا ، والهضيبات البركانية إلى الشمال الغربى من بحيرة حمص فى سوريا.

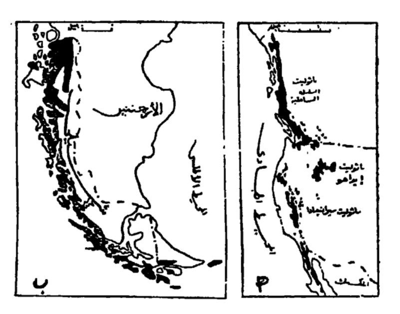
وقد أوضحت الدراسات التى أجريت فى أجزاء واسعة من هذه الهضاب البركانية المختلفة على أنها تعزى إلى انبثاق اللافا خلال فتحات الفوهات والفوالق والشقوق Fissure Eruption . كما تبين كذلك بأن عملية انبثاق اللافا كانت تدريجية وحدثت ببطء شديد حيث لم يعثر فى تكوينات هذه الهضاب على مواد حطامية صخرية بيروكلاستية مختلطة مع البازلت واللافا.

ومن ثم يحسن الإشارة إلى المظهر العام لإحدى هذه الهضاب البركانية (ولتكن هضبة كولومبيا البركانية) كنموذج تطبيقى لهذه المجموعة من الهضاب.

هضبة كولومبيا البركانية

دلت نتائج الدراسات الجيولوجية على أن هذه الهضبة تشكلت بواسطة انبثاق اللافا والمصهورات البركانية خلال فتحات الشقوق والفوهات المتعددة. وقد كانت حركة حدوث الثورانات البركانية أشد قوة خلال الزمن الجيولوجي الثالث وتتركب هضبة كولومبيا البركانية من غطاءات شبه طباقية من اللافا أقدمها تلك التى تقع أسفل هذه التكوينات وأحدثها عمراً أعلاها، ويتراوح سمكها جميعا من ٣ الى ٤ قدم ويزيد سمك الغطاء اللافى الواحد عن ٢ قدم وقد عمل نهر سنيك Snake على تكوين خوانق أخدودية نهرية عميقة فى الغطاءات اللافية بحيث أصبحت بعض أجزاء من واديه أكبر عمقاً من أخدود كلورادو ففى بعض أجزاء على طول أخدود وادى سنيك قطع النهر أخدوداً عميقاً يمتد لمسافة طولها نحو ٤٠ ميلاً ومتوسط عمقه نحو ٥٥٠٠قدم تحت سطح الأرض وتتجمع كميات هائلة من اللافا حول الشقوق الكثيفة المتشابكة التى تقطع أرضية الوادى. وقد استطاع نهر سنيك فى بعض الأجزاء الأخرى أن يشق خانقاً بلغ عمقه نحو ١٠٠٠قدم فى صخور الجرانيت التى تقع بدورها أسفل صخور البازلت. (شكل ١٧٥أ) ومثل هذه الخوانق النهرية العميقة التى تشق الهضاب البازلتية تشاهد فى المرتفعات الجبلية الجنوبية الغربية فى أمريكا الجنوبية . (شكل ١٧٥ب).

وتعد الهضاب اللافية فى حوض نهر سنيك التى تشغل القسم الجنوبى من ولاية إيداهو مكملة لنطاق هضبة كولومبيا البركانية وذلك على الرغم من أن الأولى أقل وعورة وتضرساً من هضبة كولومبيا. كما أن اللافا البركانية البلايوسينية والبلايوستوسينية التى تغطيهاتعد أحدث عمراً من اللافا البركانية الميوسينية التى تتركب منها هضبة كولومبيا. وينتشر فوق سطح الهضبة الأخيرة بعض التلال الانفرادية المنعزلة وتعرف باسم Steptoes ، وقد جاءت هذه التسمية من التلال البركانية



شكل (١٧٥)أ- الهضاب البركانية فى القسم الغربى من أمريكا الشمالية (لاحظ اتساع مساحة هضبة كولومبيا) ب - الهضاب البركانية فى القسم الجنوبى الغربى من أمريكا الجنوبية.

المعروفة بهذا الاسم والتى تقع فى شمالى كولفاكس Colfax فى ولاية واشنطن . ويتميز سطح هذه الهضبة كذلك بشكله القبابى المموج ويعزى ذلك إلى انتشار بعض المخروطات البركانية الصغيرة الحجم من جهة وإلى أثر انبثاق الماجما والمقذوفات البركانية من الشقوق التى تظهر على السطح من جهة أخرى.

وقد ذكر الأستاذ ستيرن Stearns فى عام ١٩٣٦بأنه لاحظ أكثر من ١٠٠٠ ينبوع بركانى على طول جوانب اخدود وادى سنيك فى هضبة كولومبيا البركانية ، ويرجع مصدر مقذوفات هذه الينابيع إلى اللافا البازلتية المنصهرة الآتية والمتدفقة من أعماق بعيدة من سطح الأرض.

ب ـ الهضاب الصدعية Faulted Plateaux

تنشأ الهضاب الصدعية أساساً بفعل الصدوع ولا تؤثر الأخيرة فى تقسيم الطبقات الصخرية داخل الهضاب الصدعية وزحزحتها فقط، بل تكوين جوانب الهضاب على طول الأسطح الكبرى للصدوع. وتختلف هضاب هذه المجموعة فيما بينها من حيث الحجم، والأزمنة الجيولوجية التى تكونت خلالها، وخصائصها الجيومورفولوجية العامة . وتبعاً لاختلاف حجم الهضاب ونوع الصدوع التى تشكلها يمكن أن نميز ثلاث مجموعات رئيسية منها تتمثل فيما يلى:

١ـ الهضاب الصدعية القارية الهائلة الحجم Faulted masses

وتشتمل هذه المجموعة على الهضاب القارية التى انفصل بعضها عن البعض الآخر خلال عصور جيولوجية ما ، ثم تزحزحت اجزاء هذه القارات وتباعدت عن بعضها البعض تدريجياً (راجع نظرية فجنر) . وتتميز معظم هذه الهضاب باتساع مساحتها من ناحية وهبوط أرضية الهضاب باتساع مساحتها من ناحية وهبوط ارضية البحار المجاورة لها من ناحية أخرى. ومن بين أظهر هضاب هذه المجموعة ، هضبة لورنشيا (الهضبة الكندية) ، وهضاب سيبريا و هضبة شرق البرازيل ، وهضاب جنوب شبه الجزيرة العربية، وهضبة غرب استراليا. وتبعاً لنشأة هذه الهضاب أساساً من كتل قارية اركية قديمة جيولوجيا، تعرضت لفعل عوامل التعرية المختلفة خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل، ومن ثم تميزت باستواء سطحها العام وضعف درجة تضرسها، وتغير مظهرها الجيومورفولجى عما كانت عليه خلال بداية نشأتها.

٢ - الهضاب الصدعية المتوسطة الحجم: Massif

تتميز أجزاء هذه المجموعة من الهضاب خاصة خلال القسم الأول من بداية تطورها بعدم استقرارها جيولوجيا. فيتضح من نتائج الدراسات الجيولوجية بأن هذه المجموعة من الهضاب تعرضت لحركات تكتونية عنيفة وصاحبتها حركات صدعية شديدة كذلك أدت إلى تقسيم طبقاتها وزحزحتها رأسياً وأفقياً . ثم تعرضت معظم أجزاء هذه الهضاب الصدعية بظاهرات جيومورفولوجية متباينة، كما تأثر بعض أجزائها كذلك بطغيان البحر المجاور خلال عصور جيولوجية مختلفة، وسرعان ما انحصر البحر عنها ثانية خلال عصور جيولوجية لاحقة تبعاً لتعرضها من جديد لحدوث حركات رفع تكتونية تدريجية مصاحبة بحركات صدعية . ومن ثم يتميز التاريخ الجيولوجى هذه المجموعة من الهضاب بالتعقد أكثد منه بالبساطة. ومن بين أظهر أمثلة هذه المجموعة من الهضاب نذكر منها هضبة المزيتا الأسبانية بالقسم الأوسط من شبه جزيرة أيبريا، والمرتفعات الوسطى وهضاب بريتانى فى فرنسا، وهضبة بيدمنت فى القسم الشرقى من أمريكا الشمالية وبعض الهضاب الوسطى فى أوربا.

٣- الهضاب الصدعية المرفوعة أو الضهور الصدعية : Horsts

تتكون هذه المجموعة الأخيرة من الهضاب تبعاً لتعرضها لصدوع مركبة متشابهة الاتجاه ومتجاورة لبعضها البعض بحيث تؤدى إلى رفع بعض أجزاء من الكتل الصخرية ورميها إلى أعلى وظهورها على شكل هضاب صدعية أعلى منسوباً عما يجاورها من أراضى وتعرف باسم الضهور الصدعية Horsts . فى حين تنخفض الكتل الصخرية التى رميت إلى أسفل وتظهر على شكل أحواض صدعية منخفضة المنسوب تعرف باسم الأغوار الصدعية Grabens . وتبعاً لرمى أجزاء الكتل الصخرية إلى أعلى وإلى أسفل بفعل هذه الصدوع ، يطلق عليها بعض الجيولوجيين اسم الكتل الأخدودية أو الكتل المرفوعة الصدعية Rift Blocks or Uplifted Bloks .

ومن بين أحسن أمثلة هذه المجموعة من الهضاب تلك التى تنحصر بين أجزاء الأخدود الأفريقى فى شرق أفريقيا وكذلك هضاب حوض نهر الأردن وخاصة هضبة فلسطين على الجانب الغربى لأخدود البحر الميت وهضبة الأردن على الجانب الشرقى منه. كما تتمثل هذه المجموعة من الهضاب كذلك فى معظم هضاب وادى ديث Death Valley وفى هضاب القسم الأوسط من ولاية تكساس فى أمريكا الشمالية، وهضاب غور الرين الصدعى فى أوربا،وهضبة الفوج Vosges إلى الغرب من غور الرين الصدعى ، وهضبة شوارزفيلد Schwarzwald (الغابة السوداء) ، إلى الشرق منه.

هذا وتجدر الإشارة إلى أنه ليس من الصواب تفسير اختلاف المظهر الجيومورفولوجى العام وتنوعه لمعظم مجموعات الهضاب الصدعية المختلفة إلى أثر فعل الصدوع وحده بل قد تتشكل أجزاء هذه الهضاب بفعل القوى الداخلية الأخرى (الزلازل والبراكين) وبعوامل التعرية الخارجية خلال العصور الجيولوجية المختلفة. وعلى سبيل المثال يلاحظ بأن كلا من هضاب جنوب أفريقيا وهضاب شرق البرازيل والهضبة اللورنشية كانت أصلاً من كتل قارية قديمة، ثم تكسرت أجزائها وانفصلت وتزحزحت عن بعضها البعض، ومن ثم تكونت هضاب قارية صدعية هائلة المساحة. ولكن خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل تعرضت أجزاء هذه الهضاب لفعل عوامل التعرية المختلفة التى عملت على تسوية أسطحها ومظهرها الجيومورفولوجى العام من ناحية ، كما تعرضت بعض أجزائها كذلك لفعل الزلازل والبراكين، ومن ثم ظهرت فيها ظواهر تضاريسية لم تكن تتمثل بها من قبل.هذا إلى جانب تشكيل أجزاء واسعة منها بالسهول التحاتية القديمة والحديثة جيولوجيا. ومن ثم يمكن القول (إذا لم نضع فى الاعتبار العوامل الأساسية التى أدت إلى نشوء الهضاب المختلفة) بأن معظم مجموعات الهضاب فوق سطح الأرض تنتمى إلى مجموعة الهضاب المركبة النشأة.

الفصل الثانى عشر
السهول

تعريف السهل: يطلق تعبير « سهول Plains » على تلك الأراضى المستوية السطح، القليلة التضرس ، الضعيفة الانحدار، بغض النظر عن عوامل التعرية المختلفة التى ساهمت فى تكوينها ونشأتها، وأوضح بعض الجيومورفولوجيين (اشتلهر Strahler ولوبيك Lobeck وفينمان Fenne-man) بأن السهول تتكون عادة فوق الأراضى التى تتألف من صخور طباقية أفقية الميل Horizontal or flat-lying Strata ولكن لا يتفق هذا التعريف مع السهول التحاتية البحرية أو النهرية التى تتكون فوق صخور مائلة أو أخرى ملتوية أو منثنية على الرغم من ظهور سطح الأرض على شكل سهل مستوى السطح، ضعيف الانحدار، قليل التضرس .أما الأستاذ جيمس P.E.James1935 فقد أوضح بأن المنسوب العام لمجموعات السهول نادراً ما يزيد عن ٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر . ولكن أكدت الدراسات الحديثة كذلك بأن هناك سهولاً تحاتية جبلية تتمثل فوق أعالى الجبال على مناسيب تتراوح من ١٠٠٠ إلى ١٢,٠٠٠ قدم ومع ذلك تدخل تحت نطاق مجموعة السهول تبعاً لضعف انحدارها واستواء أسطحها . ومن ثم رجح الأستاذ فان ريبر J.E. Riper بأنه يمكن تصنيف السهول إلى ثلاث مجموعات رئيسية هى :

أ - السهول الساحلية: Coastal plains وتتمثل بجوار خط الساحل والمناطق القريبة منه، ولا يزيد منسوبها غالباً عن ٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر.

ب - السهول الفيضية النهرية: Alluvial Plains وتتمثل بأراضى الأودية النهرية وفوق قاعها وتتألف رواسبها من الحبيبات الصخرية التى حملها النهرورواقده من مناطق المنابع العليا ونقلها إلى المناطق الوسطى والدنيا من حوض النهر. ويختلف منسوب السهول الفيضية النهرية من موقع إلى آخر على طول أرضية الوادى النهرى. وعلى سبيل المثال قد يبلغ منسوب

هذه السهول فى أرضية الوادى النهرى بالقرب من منطقة أعالى النهرنحو ٩٠٠قدم فوق مستوى سطح البحر، فى حين لا يزيد منسوبها بأرضية الوادى فى الجزء الأدنى منه عن ١٠٠ قدم فقط فوق منسوب سطح البحر .

جـ - **السهول التحاتية الجبلية :** Upland Peneplains تتكون هذه السهول بفعل عوامل تعرية مختلفة وتتمثل بقاياها فوق أعالى الجبال ومناطق ما بين الأودية النهرية وخطوط تقسيم المياه بين الأودية النهرية المختلفة. ومن ثم يختلف منسوب كل من مجموعاتها من موقع إلى آخر. وعندما يزيد منسوبها عن ٧٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر الحالى، يندر أن يتمثل فوقها رواسب صخرية مختلفة قد تدل على كيفية نشأتها، وعوامل التعرية التى ساهمت فى تكوينها، والأزمنة الجيولوجية التى تكونت خلالها.

وعلى الرغم من تنوع مجموعات هذه السهول واختلاف ظروف نشأتها إلا أن أهم الخصائص المشتركة بين هذه المجموعات السهلية هو امتدادها الكبير، واستواء سطحها وقلة تضرسه، ولا يزيد متوسط درجة الانحدارالعام لسطحها عن خمس درجات . وعلى أساس تنوع نشأة السهول ميز الباحث (١) بين مجموعتين رئيسيتين هما:

١- **السهول الصخرية :** Structural plains

وتتكون مثل هذه السهول فى التكوينات الصخرية غير المتجانسة والتى تتألف من صخور صلبة وأخرى لينة ومتراكبة فوق بعضها البعض ،ومن ثم تنحت عوامل التعرية الصخور اللينة بشدة وفى وقت قصير، فى حين تقاوم الصخور الصلبة فعل هذه العوامل . وعلى ذلك يبدو سطحها

---

(١) حسن أبو العينين :« أصول الجيومورفولوجيا » - دار المعارف - الأسكندرية - ١٩٦٦ والطبعة الحادية عشرة - الأسكندرية (١٩٩٥)

(b) Abou el-Enin, H.S ., "Some aspccts the drainage evolution" North, Univ., Geographical. Journal No.4 (1964), 45-54.

(b) Abou el-Enin, H.S .,"The geomorphology of the Moss Valley", M.A., Thesis, Univ . Sheffield, (1962).

على شكل سهول أو مدرجات صخرية يتأثر امتدادها وشكلها العام وفقاً للتوزيع الجغرافى للطبقات الصخرية المختلفة فوق سطح الأرض، ومدى صلابة هذه الطبقات وتنوع بنيتها الجيولوجية.

٢- السهول التحاتية: Erosional plains

وتتكون هذه السهول فوق صخور مختلفة الصلابة والتركيب، ولا تتأثر ابعادها تبعاً لمدى تنوع التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات بل تبدو على شكل مناطق واسعة الامتداد ضعيفة الانحدار بغض النظر عن تنوع الصخور أسفل منها واختلاف نظام بنيتها الجيولوجية وتتشكل السهول التحاتية بخصائص جيومورفولوجية متنوعة تبعاً للعوامل المختلفة التى ساهمت فى نشأتها (التعرية النهرية والتعرية البحرية والتعرية الجليدية ...) والدورة أو الدورات التى مرت بها

ومن المعلوم أن مجموعات السهول التحاتية تتكون فى نهاية الدورة التحاتية أو بمعنى أخر عندما يمر المجرى النهرى من مرحلة الطفولة إلى مرحلة الشباب ثم إلى مرحلةالنضج وفى نهاية المرحلة يشيع امتداد الأراضى السهلية التحاتية التى سرعان ما تتعرض للنحت والتقسيم بفعل عومل التعرية المختلفة

ولو كان سطح الأرض خلال عمره الجيولوجى الطويل (نحو ٦٠٠مليون سنة فيما قبل الكمبرى إلى العصر الحديث)، لم يتأثر بأى تغيرات تكتونية ، لأصبح سهلاً مستوياً تماماً ، ولا يتمثل فوقه اى مناطق مرتفعة أو مضرسة إطلاقاً ، تبعاً لتكوين سهول تحاتية واسعة الامتداد بفعل عوامل التعرية . ولكن حيث أن اجزاء واسعة من هذا السطح تعرضت لفعل حركات تكتونية متعاقبة خلال عصور جيولوجية مختلفة لفعل حركات تكتونية متعاقبة خلال عصور جيولوجية مختلفة، فقد أدى ذلك بدوره إلى استمرار تجديد المظهر الجيومورفولوجى العام لأجزاء سطح الأرض، ودوام تجديد نشاط المجارى النهرية من فترة إلى أخرى . ومن ثم يمكن القول بأنه فى نفس الوقت الذى تتكون فيه سهول تحاتية

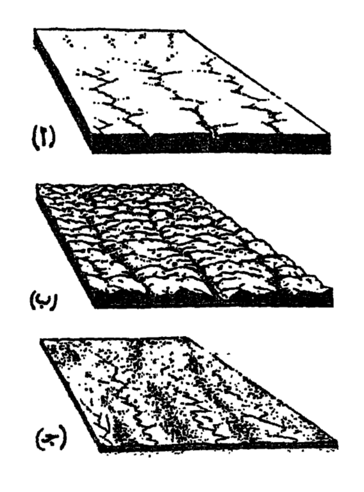
فى بعض أجزاء من سطح الأرض ، تعمق الأنهار مجاريها فى مناطق أخرى من سطح الأرض وتشقق الصخور بفعل عمليات النحت الراسى المستمرة . وعلى ذلك يحسن الأشارة إلى بعض نماذج لمجموعات السهل التحاتية المختلفة فوق سطح الأرض ، والعوامل التى أدت إلى نشأتها، وخصائصها التضاريسية العامة.

أولاً - السهول التى تتكون بفعل المياه الجارية

تعزى نشأة معظم السهول التى تتمثل فوق سطح الأرض إلى فعل التعرية النهرية وقد أكدت نتائج الدراسات الجيومورفولوجية بأن مثل هذه السهول تكونت فى بداية نشأتها (مرحلة الطفولة Young Stage) بواسطة مجارى نهرية كانت تشقق السطح الأصلى لمنطقة ما Initial Surface وقد تشكل الاتجاه العام لهده المجارى النهرية تبعاً لاتجاه الانحدار العام للسطح الأصلى ولكن فى مراحل متعاقبة من مراحل الشباب Youth Stage سرعان ما تبدأ الأنهار شق مجاريهاخلال مناطق الضعف الجيولوجية (الصخور اللينة و أسطح الصدوع (الانكسارات) ومناطق مضرب الطبقات) ولتكون لنفسها أودية نهرية عميقة بفعل النحت الراسى الشديد وعلى ذلك يرداد تضرس المنطقة وتتقطع أسطحها بواسطة الأودية النهرية النشيطة التى تبدو قطعاتها الجانبية على شكل حرف (V) .(شكل ١٧٦)

وفى مراحل متأخرة من مراحل التطور الجيومورفولوجى للمنطقة (مرحل النضج MatureStage) تتآكل الطبقات الصخرية العليا اللينة بالمنطقة تبعاً لتوالى عمليات التعرية النهرية الرأسية والجانبية كما تتسع جوانب الأودية النهرية ويبدو سطح الأرض فى هذه المرحلة بسيط الانحدار قليل التضرس. ويطلق عليه اسم « السهل التحاتى النهرى Peneplain» ولا يرتبط الاتجاه العام للمجارى النهرية فى هذه المرحلة بالانحدار الأصلى للمنطقة (كما هو الحال بالنسبة للأنهارخلال مرحلة الطفولة)، بل يتأثر اتجاهها تبعاً لخصائص التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات . وعلى ذلك يتميز التصريف النهرى وأنماطه المختلفة بأنه متوافق مع التركيب الصخرى الذى تشقه الأنهار وتجرى فوقه.

وعلى الرغم من أن السهول التحاتية النهرية تتكون فى نهاية الدورة التحاتية للأودية النهرية ومجاريها إلا أن مجموعاتها تختلف فيما بينها ليس فقط من حيث الأزمنة الجيولوجية التى تكونت خلالها بل كذلك من



شكل (١٧٦) مراحل تكوين السهول التحاتية النهرية:

أ- مرحلة الطفولة. ب- مرحلة الشباب. جـ- مرحلة النضج .

حيث خصائصها الجيومورفولوجية العامة تبعاً للموقع المحلى الذى تكونت فيه. وعلى هذا الأساس يمكن أن نميز أنواع السهول الآتية:

أ - السهول الفيضية : Flood Plains

تتكون السهول الفيضية فى أرضية الأودية النهرية وبجوار مجارى الأنهار وتتجمع رواسبها الصفائحية الشكل فوق بعضها البعض تبعاً لإرساب النهر بعض حمولته من الرواسب على جانبيه خلال وقت الفيضان ، أو تركه لها وانحصار مياه النهر فى مجرى ضيق إبان وقت التحاريق. ويتمثل فوق السهول الفيضية ظاهرات تضاريسية مختلفة من أهمها البحيرات المقتطعة التى تعد بقايا هياكل المنعطفات النهرية القديمة ، والجسور الطبيعية Natural levees التى تتألف من المواد الطينية اللزجة والتى كثيراً ما تتكون بعد طرح النهر بعض من حمولته وانحصاره فى مجراه الضيق خلال وقت التحاريق.

وتختلف المفتتات الصخرية التى تتركب منها السهول الفيضية من مكان إلى أخر على طول قاع الوادى النهرى Valley Floor . فتتألف فى القسم الأعلى لحوض النهر من جلاميد صخرية كبيرة الحجم وأخرى غير متجانسة الشكل والتركيب ، وتتفتت تلك الرواسب من صخور المنابع العليا لحوض النهر، فى حين تتركب المفتتات الصخرية للسهول الفيضية فى القسم الأدنى من حوض النهر من حبيبات صخرية دقيقة الحجم واضحة الاستدارة، كما أنها غالباً ما تكون مصقولة الجوانب تماماً تبعاً لرحلتها الطويلة عبر المجرى النهرى واستمرار احتكاكها بقاع النهر وتشكيلها بفعل المياه.

وحيث يتميز المجرى النهرى المثالى فى حوضه الأعلى بشدة فعل النحت الرأسى وسرعة جريانه وشدة تياره ودرجة انحداره ، لذا يبدو السهل الفيضى بهذا القسم الأعلى من حوض النهر على شكل شريط ضيق لا يزيد عرضه عادة على بضعة أمتار فقط يتركز بجوار مجرى النهر نفسه. أما فى القسم الأدنى من حوض النهر حيث تضعف التعرية الرأسية ويظهر فعل التعرية الجانبية ويترنح مجرى النهر من جانب إلى أخر ، فتظهر السهول الفيضية هنا على شكل نطاق عريض نسبياً

(يتراوح اتساعه من بضع مئات من الأمتار إلى بضع مئات من الكيلومترات) وتتميز كذلك باستواء أسطحها وتغطيتها بفرشات إرسابية فيضية من الرواسب الدقيقة الناعمة، والجسور الطبيعية.

ولما كان موقع السهول الفيضية يقترن بمجرى النهر نفسه لذا تعد هذه السهول من احدث الظواهر التضاريسية عمراً فى حوض النهر ولكن فى حالة إذا ما وصل النهر إلى مرحلة النضج ونجح فى أن يكون سهولاً فيضية واسعة الامتداد، ثم تعرض بعد ذلك لفعل التعرية النهرية الراسية وجدد نشاطه ودورته من جديد (تبعاً لحدوث حركات رفع تكتونية فى حوض النهر، أو تغير مستوى سطح البحر) سرعان ما يعمق النهر السهول الفيضية وتظهر الأخيرة على جانبى المجرى النهرى المتعمق الجديد على شكل مدرجات نهرية River Terraces تحمل فوقها الرواسب النهرية الفيضية المختلفة. اما إذا جدد النهر نشاطه خلال مراحل جيولوجية متعاقبة مختلفة فتظهر بقايا السهول الفيضية على شكل بقايا لسهول تحاتية قديمة Erosion Surface remnants ، تحتل بدورها أعالى جوانب النهر.

وحيث إن هذه السهول قديمةالعمر الجيولوجى ، لذا فمن النادر أن تحتوى على رواسب فيضية تبعاً لتآكل الأخيرة وإزالتها بفعل عوامل التعرية المختلفة. وإن دل تعدد مجموعات السهول التحاتية فى حوض النهر على شئ ، فإنما يدل على أن هذا النهر تعرض لأكثر من دورة تحاتية، وكون لنفسه سهولاً فيضية متسعة، ثم سرعان ما جدد نشاطه من جديد تبعاً لتغيير مستوى القاعدة العام.

ب - السهول الدلتاوية Delta Plains or Deltas

تتجه معظم مصبات أنهار العالم صوب البحار والمحيطات حيث تلقى حمولتها وما بها من رواسب. وتتجمع كذلك بعض هذه الرواسب فى الجزء الأدنى من النهر خاصة عند فوهته وتتراكم بدورها فوق أرضية شاطئ البحر أو المحيط الضحل الذى يصب فيه النهر. فإذا كانت قوة

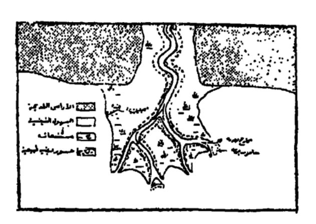
الأمـواج وأثـر فـعل المد والجـزر شـديداً فـقـد يـنجم عن هذه العـوامل إزالة الرواسب النهـرية باستـمـرار ولا تمنح لها الفـرصة لـكى تتشكل أو تتـراكم أمـام فـوهة النهـر. وإذا تعـرض الجـزء الأدنى من النهـر لعـمليات الهـبـوط الأرضى Subsidence فـمـن الصـعب أن تتـجمع أو تتـراكم الرواسب فى هذه الحالة ، حيث إن معظمـها سيكون عرضة لتـأثير عـمليات الهبـوط ويطغى البحر على فوهة النهر والمناطق الساحلية المجاورة.

أما إذا كان فـعل الأمواج وتأثير المد والجزر ضعيفاً والبحر ضـحـلاً كما هو الحـال فى البـحـيـرات والبـحـار المغلـقـة، مثل البـحـر الأبيض المتـوسط والبـحـر الأسـود ، وخليج المكسـيك فـيـصبح فى قـدرة الرواسب النهـرية أن تتجمع وتتـراكم أمـام فـوهة النهـر وعلى جانبى الجـزء الأدنى من الوادى النهـرى . ويتـوالى عـمليـات تراكـم الرواسب على شـكل طبـقـات تـغطى الأسطح القـريبة من مـصب النهر عـاماً بعد عام قد تتكون سـهول واسـعة الامتـداد، مستوية السطح وتظهر غـالباً على شكل مـروحى . ويطلق على هذه السهول الإرسابية عند فوهة النهر اسم الدلتا Delta . ويتـبين من هذا العـرض أن السـهول الدلتـاوية تتكون علـى حسـاب البـحر الـضحل المجـاور وذلك بتراكم المفـتتات الصخرية الفـيضية وإرسـابها فوق أرضيـة هذا البحر الضحل مكونة طبقات متعاقبة قد ترتفع وتظهرفـوق منسـوب سطح البحر وبذا تصبح جزءاً من الدلتا.

وعندمـا تزداد الرواسـب النهـرية فى البـحـر الضـحـل الذى يصب فـيـه النهـر ، وقد يـكون من الصـعب أحـيـاناً أن يرسب النهـر حمـولتـه عن طريق مـجـراه فقـط وتبعـاً لارتفـاع منسـوب المياه فى الجـزء الأدنى من النهـرقـد يعـمل الأخيـر على حـفـر مـجارى تتـخـذ شـكل مـخارج تساعده على قـذف مياهه، وما يحمله من رواسب إلى أجزاء أخرى أكبـر عمقاً نسبياً فى البحر المجـاور. وعلى ذلك فيـقطع أرض الدلتا عـديد من المجـارى يطلق عليهـا اسم المخـارج النـهـرية Distributaries أو الفـروع ويحـدد جـوانب هـذه المخـارج النهرية عادة الجسـور الطبيعية الطويلة الشكل الممتدة فـوق أرضيـة السـهل الفـيضى وقـد يتـفرع المخـرج النهـرى إلى عدة أفـرع مـختلفـة إذا ما تعـرض

مجراه لبعض الجزر أو عقبات من الصعب اجتيازها (شكل ١٧٧).

ومن أجمل أمثلة هذه المخارج تلك التى تتمثل فى دلتا نهر المسيسبى بأمريكا الشمالية.



شكل (١٧٧) مورفولوجية المناطق الدلتاوية - لاحظ توزيع الجسور الطينية الطبيعية على جانبى المخارج النهرية وانتشار الرواسب الفيضية.

ويمكن دراسة تركيب الطبقات الإرسابية المختلفة للدلتا عندما ينخفض مستوى سطح البحر أو البحيرة التى يصب فيها النهر وتظهر هذه الطبقات واضحة على سطح الأرض. وتبعاً لاختلاف المظهر الجيومورفولوجى للدلتاوات وتنوع أشكالها يمكن تقسيمها إلى مجموعتين كبيرتين هما:

أ- الدلتاوات المروحية المثلثة :

تتخذ معظم دلتاوات أنهار العالم الشكل المثلثى، بحيث تمثل قاعدة المثلث ساحل البحر أو البحيرة التى تصب فيها المجارى الدنيا للنهر، بينما يمثل رأس المثلث منطقة تفرغ هذه المجارى النهرية من المجرى الرئيسى،

وقد تزداد المخارج النهرية المتكونة فوق الدلتا بحيث تبدو الأخيرة على شكل يشبه المروحة. ومن بين أمثلة هذه الدلتاوات ، دلتا النيل التى اتخذت اسمها تبعاً لظهورها على شكل مثلث يشبه حرف «د» فى اللغة اليونانية Δ وقد اتخذت قاعدة المثلث أو بمعنى أخر الشريط الساحلى لدلتا النيل شكل القوس المنحنى وذلك يعزى إلى تآكل جوانب قاعدة الدلتا بفعل الأمواج من جهة بالإضافة إلى تأثير الحواجز الرملية والبحيرات الساحلية وخصائص عمليات إرساب فيضان النيل (قبل بناء السد العالى) من جهة أخرى. (شكل١٧٨).





شكل (١٧٨) الشكل العام لدلتا النيل، ودلتا الكانج.

وحيث إن مجرى نهر النيل يشق طريقاً طويلاً خالياً من الروافد التى تغذيه ويقطع أراضى صحراوية جافة وواسعة الامتداد فإنه عند وصوله إلى قمة أو رأس الدلتا يلقى معظم مابه من رواسب وبذا تصبح درجة امتداد أو تقدم الدلتا فى البحر ضئيلة جداً بالنسبة لتقدم بعض دلتاوات الأنهار الأخرى . فتمتد مثلاً دلتا نهر البو Po فى السهل الإيطالى الشمالى امتدادا سريعاً فى بحر الأدرياتيك ونجم عن ذلك أن بعدت مدينة أدريا Adria بنحو ١٤ ميلاً عن خط الساحل . ولما كانت هذه المدينة ميناء بحرياً هاماً منذ نحو ١٨٠٠ سنة مضت ، فقد قدر الباحثون أن دلتا البو تتقدم فى البحربمعدل ٤٠ قدماً فى السنة وتكررت نفس العملية بالنسبةلمدينة أوستيا Ostia على نهر التيبر Tiber (ميناء روما القديم) التى أصبحت

على بعد أربعة أميال من الساحل الحالى.

كما تختلف الدلتاوات فيما بينها من حيث الحجم تبعاً لكمية الرواسب التى يلقيها النهر عند فوهته. فيزيد متوسط اتساع دلتا أنهار كل من النيل والفولجا والكانج والمسيسبى عن ١٠٠ ميل ، أما دلتا هوانجهو فى الصين فيزيد اتساعها عن ٣٥٠ ميل، وتتألف دلتا الكانج من دلتا يشقها عشرات من المخارج النهرية التى تساعد على قذف حمولة النهر فى خليج بنغال ، وتتركب من طبقات غرينية كبيرة السمك (أنظرشكل ١٧٨).

ب - الدلتاوات الأصبعية:

قد تنقسم بعض الدلتاوات بواسطة مخارج نهرية عميقة نسبياً يطلق عليها اسم المعابر « Passes » وتتخذ هذه المعابر النهرية شكل أصابع اليد أو قدم الطائر وينحصر بين أصابها (مخارجها) أشرطة سهلية ضيقةمركبة من مواد صلصالية ناعمة شديدة التماسك .

ومن أجمل هذه المجموعة ، هى دلتا نهر المسيسبى التى تتكون من عديد من المخارج العميقة التى تمتد فى البحر على شكل قدم الطائر Bird's Foot. وتحمل المجارى النهرية للمسيسبى فى الجزء الأدنى كميات كبيرة من الرواسب الدقيقةالحجم ساعدت على تكوين جسور نهرية غير مسامية تفصل بين جوانب المخارج النهرية العميقة. وقدر الباحثون أن متوسط تقدم مخارج المسيسبى فى خليج المكسيك يبلغ نحو ٢٤٠ قدماً فى السنة.

وقد دلت نتائج الدراسات التى أجريت فى دلتا المسيسبى على انها تتعرض لعمليات الهبوط الأرضى التدريجى البسيط. وقد تبين كذلك أن الفعل الناتج عن الإرساب النهرى عمل على تعويض التأثير الناتج عن فعل الهبوط حيث يقوم كل منهما بدوره فى نفس الوقت . ومن أمثلة الدلتاوات الكبرى التى تتعرض لحركات الهبوط الأرضى التدريجى كذلك دلتاوات النيل ، والكانج وبرهما بترا وإيراوادى. هذا ويسهل تكوين الدلتاوات ويزداد تقدمها بسرعة إذا تكونت فى بحار مغلقة تتميز بضعف قوة

التيارات والأمواج وتأثير المد والجزر ، وكذلك إذا كانت الأنهار تصب فى بحيرات ضحلة،وحسبما إذا كان مياهها أكثر ملوحة من مياه الأنهار التى تصب فيها . ومن بين أمثلة ذلك دلتا نهر تيرك Terek التى تتقدم بمعدل ١٠٠٠ قدم سنوياً فى بحر قزوين.

وقد تكون المجارى النهرية وخاصة شبه الجافة منها ظاهرة أخرى تشبه الدلتاوات يطلق عليها تعبير المراوح الفيضية Alluvial Fans . وكمثل الدلتاوات تتكون المراوح الفيضية تبعاً لإرساب الأنهار حمولتها من الرواسب المختلفة. ولكن يلاحظ فى هذه الحالة أن الرواسب النهرية تتجمع وتترسب فجائياً نتيجة لاختلاف انحدار المجرى النهرى وسرعة جريانه حيث ينساب المجرى المائى شبه الجاف فى هذه الحالة من أعالى الحافات الصخرية التى يشقها وتتجمع رواسبه الفيضية تحت أقدام هذه الحافات. ومن ثم تتركز مجموعات المراوح الفيضية فى مناطق إلتقاء المجارى النهرية المنحدرة فى المناطق الجبلية بتلك التى تنحدر فوق السهول الضعيفة الانحدار. وعلى ذلك تتراكم رواسب الأنهار الجبلية فجأة وتبدو على شكل أكوام مروحية فيضية هائلةالحجم . وتتألف مواد هذه المرواح الفيضية من مفتتات صخرية خشنة ويكثر فيها الحصى والحصباء غير المتجانس الشكل أو الحجم.(١)

وتعد دراسة السهول التحاتية النهرية من بين أهم موضوعات الدراسات الجيومورفولوجية الدافيزية ذلك لأنها تفسر تطور حياة النهر ومدى تأثره بتذبذب مستوى سطح البحر المجاور . على ذلك يهتم الباحثون بتصنيف مجموعات السهول التحاتية فى حوض النهر الواحد وتتميز كل مجموعة على حدة، وتحديد أشكالها الجيومورفولوجية العامة وذلك لمعرفة الزمن الجيولوجى التى تكونت فيه كل مجموعة من السهول التحاتية النهرية المختلفة.

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

أ- حسن أبو العينين :« أصول الجيومورفولوجيا » - الأسكندرية - الطبعة الحادية عشرة - الأسكندرية (١٩٩٥)

ب- حسن أبو العينين « مروحة وادى بيح - شرق رأس الخيمة دراسة جيومورفولوجية » الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٩٥) .

ويلاحظ أن أهم ما يربط بين بقايا السهل التحاتى الواحد ، والذى يجعل الباحث أن يجمع تلك البقايا السهلية ويرمز إليه كسهل تحاتى واحد قديم ما يلى:

(أ) وقوع بقايا السهل بين مناسيب محددة فمثلاً قد تقع أقل هذه البقايا ارتفاعاً على منسوب ٣٥٠قدما بينما يقع أعلى هذه البقايا على منسوب ٤٢٠قدماً فوق مستوى سطح البحر، وبالتالى تعتبر هذه البقايا السهلية فيما بين هذين المنسوبين تابعة لسهل تحاتى واحد يتراوح منسوبه فيما بين ٣٥٠إلى ٤٢٠قدماً فوق مستوى سطح البحر.

(ب) تشابه المظهر الجيومورفولوجى للبقايا السهلية التى تتبع مرحلة تحاتية معينة حيث أنها تكونت فى زمن واحد معين وتشكلت بنفس العوامل المختلفة وتطورت حت ظروف متشابهة.

(ج) إذا تميزت البقايا السهلية التابعة لمرحلة تحاتية معينة باحتوائها على بعض الرواسب، فتبدو الأخيرة متشابهة من حيث أشكالها وتركيبها فوق كل هذه البقايا المختلفة بحوض النهر.

وتتلخص أهم الخصائص التى تميز السهول التحاتية النهرية عن غيرها من السهول الأخرى فى النقاط الآتية:

١ ـ لا تتأثر أشكال السهول التحاتية النهرية أو امتدادها بالتركيب الصخرى الذى تنشأ فوقه كما هو الحال مثلاً بالنسبة للمدرجات الصخرية بل تتكون بقايا السهل التحاتى النهرى فوق أنواع مختلفة من الصخور وتقشط أسطحها جميعاً لتظهر على شكل سهل مستوى السطح مركب من صخور جيولوجية متباينة.

٢ـ على الرغم من الاختلاف البسيط فى منسوب بقايا السهول التحاتية المختلفة التى تنتمى إلى مرحلة واحدة بالنسبة لسطح البحر، إلا أنها تتفق جميعاً من حيث مظهرها الجيومورفولوجى العام (درجة الانحدار والشكل العام والظواهر الجيومورفولوجية الثانوية التى تنشأ

فوقها الرواسب النهرية التى قد تميزها).

٣ - تتشكل سفوح انحدارات السهول التحاتية النهرية الحديثة العمر بتغطيتها بفرشات من الرواسب النهرية التى قد تساعد على معرفة الزمن الذى نشأت فيه السهول . ولكن من النادر ملاحظة مثل هذه الرواسب فوق انحدارات سطح السهول التحاتية النهرية القديمة العمر (أقدم من البلايوستوسين) اللهم إلا بعض الرواسب المفتتة أوالمتحللة بواسطة فعل التجوية Deeply Weathered Waste والتى تشغل اجزاء العليا من الطبقات الصخرية.

٤- أهم ما يميز بقايا السهل التحاتى النهرى كذلك هو التصريف النهرى وأشكاله ففى بداية الدورة التحاتية تكوين الأنهار الرئيسية التى تمتد مع اتجاه ميل الطبقات Consequent Streams، ولكنها سرعان ما تتغير وتتشكل فى نهاية الدورة التحاتية لتحل مكانها أنهار أخرى تشق مناطق الضعف الجيولوجى أو تمتد على طول مضرب الطبقات. وعندما يتشكل التصريف النهرى بهذا النمط، وغالباً ما يحدث ذلك فى نهاية الدورة التحاتية النهرية Late Stage of Peneplanation ويطلق على التصريف النهرى فى هذه الحالة بأنه عدل مظهره بالنسبة للتركيب الصخرى فى المنطقة Adapted or Adjusted-to Structure وتعتبر هذه الخاصية أهم ما يميز السهول التحاتية النهرية خاصة إذا لم تتشكل هذه السهول الأخيرة بالرواسب (١).

ثانياً - السهول التى تتكون بفعل البحر

ترجع نشأة السهول التحاتية البحرية Plains of Marine Denudation إلى اثر فعل كل من الأمواج والمد والجزر ، وعمليات تذبذب مستوى سطح البحر خلال العصور الجيولوجية المختلفة، فى تشكيل صخور اليابس المتاخمة لسطح البحر. وقد دلت الدراسات الجيومورفولوجية على أنه قد ينجم عن فعل هذه العوامل السابقة فى الأراضى المجاورة لخط الساحل خلال مدة طويلة من الزمن ، او تبعاً لتراجع البحر عن الأرض المجاورة له تكوين سهول واسعة الامتداد ، وضعيفة التضرس، وتتغطى أحيانا ببعض

الرواسب والكائنات البحرية المختلفة، وتنحصر أبعادها فيما بين الجروف البحرية (الحواف الصخرية العالية التى تمثل شاطئ البحر القديم قبل انخفاض منسوبه) وخط الساحل . وقد اعتقد بعض الجيولوجيين فى بريطانيا خلال القرن التاسع عشر بأن معظم السهول التحاتية فى الجزر البريطانية عبارة عن سهول تحاتية بحرية كونها البحر القديم إبان عمليات تراجعه المتعاقبة عن اليابس خلال فترات مختلفة من العصور الجيولوجية.

وقد أوضح الباحثون بأن عملية تكوين السهول التحاتية البحرية تظهر بوضوح على طول السواحل البحرية التى تتراجع عندها الجروف البحرية (التى تمتد بجوارها وتتألف من صخور لينة) بسرعة شديدة وإذا كانت هده الأرصفة أو السهول البحرية Marine platforms حديثة العمر الجيولوجى ومحدودة الامتداد، فقد تنغطى بمياه البحر خلال فترات حدوث المد العالى، فى حين تظهر ثانيه فوق السطح عندما تتراجع مياه البحر خلال حدوث الجزر وتساهم الأمواج العاليه المتكسرة الشديدة الاندفاع فى تشكيل السهول البحرية التى تمتد تحت أقدام الجروف Cliffs) . وذلك بفعل اصطدام الحبيبات الرملية والرواسب المختلفة التى تحملها الأمواج القادمة وتلك المرتجعة واحتكاكها بصخور السهول والجروف البحرية وحين تتعرض الأجزاء الدنيا من السهل البحرى لفعل الأمواج بصورة أشد منه فى الأجزاء العليا (التى تقع تحت أقدام الجروف البحرية مباشرة) لذا يظهر أثر فعل تعرية الأمواج فى تلك الأجزاء الدنيا من السهل البحرى قبل ظهورها فى الأجزاء العليا منه . وعلى ذلك ينحدر سطح السهل البحرى انحداراً تدريجياً بسيطاً من أقدام الجروف البحرية إلى البحر المجاور.

ويزداد تراجع الجروف البحرية إذا كانت تتألف الأخيرة من صخور لينة ضعيفة التماسك وإن فعل الأمواج كان شديداً ، وعند ظهور أثر فعل التعرية الهوائية والتجوية الكيميائية فى نحت الجروف البحرية. فى حين تقل سرعة التراجع الخلفى للجروف البحرية إذا كانت الأخيرة تتألف من صخور صلبة شديدة التماسك، ولم تتأثر كثيراً بالشقوق والفوالق

والصدوع غير أنه بمرور الزمن لابد وأن تتراجع الجروف البحرية، ولو بصورة مختلفة وبدرجات متفاوتة، وينجم عن ذلك اتساع أبعاد السهول التحاتية البحرية بصورة تدريجية على حساب التراجع الخلفي للجروف البحرية من ناحية وانخفاض مستوى سطح البحر من ناحية أخرى. وعندما تصبح السهول البحرية قديمة العمر الجيولوجي، تبعد مياه البحر عنها ، ويصبح منسوبها أعلى من مياه البحر بصورة واضحة، وعلى ذلك قد لا تصل مياه البحر إلى أطراف السهول الواقعة تحت أقدام الجروف البحرية ، كما لا تتشكل الأخيرة بفعل مياه البحر، بل تتعرض أساساً لفعل عوامل التعرية الهوائية المختلفة

وعلى الرغم من مشاهدة السهول التحاتية البحرية مجاورة لخط الساحل، إلاأنه من الصعب تمييز مجموعات السهول البحرية القديمة فوق مناطق سطح الأرض التى انحصر البحر القديم عنها ثم تشكلت من جديد بفعل التعرية الهوائية

وقد رجح الأستاذ وليم موريس دافيز بأنه من النادر أن يعثر الباحث على أدلة تثبت نشأة السهول التحاتية البحرية بصورة يقينية ذلك لأن معظم الرواسب البحرية السطحية تتلاشى وتتآكل تدريجياً بفعل عوامل التعرية خاصة إذا كانت هذه السهول البحرية قديمة العمرالجيولوجى ولكن قد تتبقى بعض هذه الرواسب فوق إجزاء من السهل التحاتى البحرى الحديث النشأة. وقد رجح الأستاذ « سبارك.Sparks. B W» (١)أن بعض هذه الرواسب البحرية فوق السهل التحاتى البحرى قد تتشكل بفعل التعرية الهوائية Subaerial denudation وينجم عن ذلك اختلاط كل من الرواسب البحرية بالرواسب القارية، ويصعب تمييز كل منها على حدة. وقد أطلق سبارك على مثل هذه السهول تعبيرMarine trimmed plains لكى يرمز إلى تلك السهول البحرية النشأة والتى عدل فى مظهرها الثانوى عوامل التعرية الهوائية الأخرى وذلك بدلاً من تعبير السهول البحرية Marine plains

(1) Sparks, B.W., "Geomorphlogy", (1960),334-362.

وقد أكد الأستاذ هنرى بوليج H. Baulig فى عام ١٩٥٢، أن معظم سطوح بقايا السهول التحاتية البحرية تغطيها رواسب من الحصى والكونجلومرات Conglomerate دلالة على شدة نحت أمواج البحر القديم فى الصخور، والتى تتفتت لتكون الفرشات الإرسابية التى تغطى هذه السهول . وتتلخص أهم الخصائص الجيومورفولوجية التى تميز السهول التحاتية البحرية عن غيرها من أنواع السهول التحاتية الأخرى ما يأتى :

أ- حدوثها على شكل مصاطب سلمية Staircases of Terraces تمتد موازية لخط الساحل المجاور.

ب- زيادة استواء أسطحها وتشابه مناسيب أجزائها المختلفة هذا بالإضافة إلى ضعف تضرسها Very faint relief بدرجة واضحة إذا ما قورنت بأى نوع أخر من السهول التحاتية.

جـ- تتميز الحافات الصخرية التى تشكل كل من مقدمة السهل التحاتى البحرى ومؤخرته والتى تفصل مجموعة ما من بقايا هذا السهل عن مجموعة أخرى بأنها حافات صخرية حائطية شديدة الانحدار Wall like cliff هذا بخلاف الحافات الصخرية التى تصاحب تكوين السهول التحاتية النهرية التى تتميز عادة بظاهرات جيومورفولوجية ثانوية متعددة.

د- ولكن أهم ما يميز السهول التحاتية البحرية كذلك، العلاقة بين التصريف النهرى وأشكاله فوق هذه السهول ونظام التركيب الصخرى الذى تتكون فوقه. فإذا غطيت بقايا السهل التحاتى البحرى بفرشات سميكة من الرواسب البحرية بالتالية تتكون المجارى النهرية فى بداية نشأتها فوق هذه الرواسب وتشق لنفسها مجارى نهرية يتوقف امتدادها أساساً تبعاً لاختلاف انحدار سطح الرواسب، وفى مرحلة متعاقبة سرعان ما تتاكل الرواسب البحرية فى نفس الوقت التى تطبع فيه الأنهار مجاريها فوق الصخور السفلية بنفس الشكل الذى تكونت به أصلاً فوق الرواسب

البحرية العليا. ولذا يطلق الباحثون على مثل هذا التصريف النهرى تعبيرالتصريف النهرى المنطبع Superimposed Drainage.

وتنتشر السهول البحرية الحديثة العمريجوار معظم السواحل الحالية لقارات العالم، ومن بين أجمل أمثلتها السهول البحرية الحديثة النشأة على طول الساحل اللبنانى والتى تمتد فى اتجاه شمالى شرقى، جنوبى غربى فيما بين بلدة العريضة عند مصب النهر الكبير شمالاً، وجنوب رأس الناقورة بجوار الحدود اللبنانية - الفلسطينية جنوباً ، وذلك لمسافة يبلغ طولها ٢٢٥ كيلو متراً . ويزيد طول السواحل اللبنانية عن هذا الامتداد تبعاً لكثرة الخلجان والرؤوس البحرية التى تتمثل بها.ويختلف اتساع السهل الساحل اللبنانى من موقع إلى آخر تبعاً لما يلى:

أ - مدى قرب الجروف البحرية أو بعدها عن خط الساحل.

ب - درجة التقطع النهرى . وتكوين السهول الساحلية الفيضية بفعل المجارى النهرية الكبرى . كما هو الحال فى منطقة الأحواض الدنيا لمجارى أنهار النهر الكبير، وبيروت، والزهرانى، والليطانى، حيث تمتزج السهول الفيضية النهرية بتلك البحرية.

جـ - التطور الجيومورفولوجى لعمليات تراجع البحر عن الأرض المجاورة خلال عصر البلايوستوسين

ولا تبدو السهول الساحلية اللبنانية على شكل أراضى مستوية السطح تماماً، بل يختلف منسوبها وانحدارها من مكان إلى آخر، كما تتشكل أركانها بظواهر تضاريسية متنوعة من أهمها، المدرجات البحرية البلايوستوسينية، والكثبان الرملية القديمة العمر وتلك الحديثة التكوين ، والتلال الجبلية المنعزلة التى قاومت فعل عوامل التعرية الهوائية والبحرية،هذا إلى جانب انتشار الفرشات الإرسابية والتى تتألف غالباً من الرمال والحصى والحصباء ورواسب المجمعات وقد قام الأستاذ ديبرتريه

فى عام ١٩٤٠[1] بدراسة السهول التحاتيةالبحرية التى تتمثل على

(1) Dubertret, L., "Manuel de geographie de la Syrie et du Proch Orient " Beyrouth, (1940) 45 . t

طول الساحل اللبنانى، ومن دراسته لتنوع مناسيب مجموعات هذه السهول وخصائص الرواسب التى تتمثل فوقها ميز ديبرتريه ثمانية سهول تحاتية بحرية، جمعها فى ثلاث فترات تحاتية بحرية كبرى تتبع مراحل تكوين المدرجات البحرية التحاتية الفلندرية، والتيرانية، والصقلية التى تتمثل بوضوح فى أجزاء واسعة من السهول الساحلية لحوض البحر الأبيض المتوسط، وتتلخص نتائج دراسات ديبرتيه لمجموعات السهول التحاتية البحرية على طول الساحل اللبنانى واختلاف مناسيبها، والفترات التاريخية التابعة لنشأتها وطبيعة المناخ القديم الذى كان سائداً إبان تكوين كل منها فى الجدول التالى:

ارتفاع السهول البحرية القديمة فى لبنان (متر فوق سطح البحر الحالى)	مجموعات السهول البحرية فى حوض البحر المتوسط	تاريخ السهول البحرية اللبنانية	الظروف المناخية
رتفاع من متر واحد	المدرج	الفترة التاريخية الحديثة	المناخ الحالى
من ٣ـ ٤ متر	الفلندرى	نهاية العصر الحجرى الحديث	أشبه بالمناخ الحالى إلا أن المناخ كان أكثر رطوبة
مدرج ٦ متر	المدرج التيرانى	المستيرى اللافلوازى	أكثر دفئاً وحرارة عن المناخ الحالى ـ ترسيب التربة الحمراء فى الفترة اللافلوازية .ـ
مدرج ١٠ متر		نهاية الفترة الأشولية	
مدرج ٣٥ متر		بداية الفترة الأشولية	مناخ دفئ يتبع مرحلة ريس فيرم غير الجليدية فى أوربا
مدرج ٤٥		بداية فترة الحضارة الشيلية.	أكثر رطوبة وبرودة عن المناخ الحالى
مدج ٦٠ متر	المدرج الصقلى	الفترة التأيسية ـ فترة تكوين رواسب	٦- أكثر رطوبة عن

ثالثاً - السهول التى تتكون بفعل الجليد

فى المناطق المنخفضة المنسوب والتى تعرضت لفعل الجليد خلال عصر البلايوستوسين كثيراً ما يتكون فوقها نماذج مختلفة لبعض السهول الجليدية. وتتميز تلك السهول الأخيرة باستواء سطحها العام وقلة تضرسها، إلا أنها جميعاً تتركب أساساً من مفتتات صخرية غير متجانسة الشكل أو التركيب وقد أرسبها الجليد فوق السطح الأصلى للمنطقة الذى كان يمثل سطح المنطقة فيما قبل بداية العصر الجليدى Pre-glacial Surface . ومعنى ذلك أن هذه السهول تعد إرسابية النشأة وليست سهولاً تحاتية مثل السهول التحاتية النهرية أو البحرية. ويمكن أن نميز نوعين أساسين من السهول الإرسابية التى تتكون بفعل الجليد وتتلخص فيما يلى:

أ - سهول الطفل الجليدى « مواد صلصالية حصوية» Till Plains

عندما تغطى الغطاءات والتكوينات الجليدية مساحات واسعة من سطح الأرض كثيراً ما تتجمع مفتتات الرواسب الصخرية أسفل تلك الغطاءات ويزداد تجمعها كذلك أثناء عملية الانصهار التدريجى للجليد . وعلى ذلك يزداد سمك تلك الرواسب بالتدريج وتعمل بدورها على تغطية السطح الأصلى للمنطقة التى تعرضت لهجوم الغطاءات الجليدية بفرشات إرسابية هائلة السمك . وغالباً ما يكون السطح الأصلى شديد التضرس وتكثر به الأحواض المقعرة، والقباب المحدبة، ولكن تعمل تلك الرواسب على تسوية هذا السطح ، وتغطيته تماماً بحيث يبدو مستوياً ، ضعيف الانحدار قليل التضرس . ومن بين أظهر أمثلة ذلك سهول رواسب الطفل الجليدى إلى الجنوب من مدينة ويسكونسين بالولايات المتحدة الأمريكية.

وتتألف رواسب « التيل»[1] أو الطفل الجليدى أساساً من المواد الدقيقة

---

(١) على الرغم من أن كلمة (تيل Till شائعة الإستخدام فى أسكتلندا إلا أن الجيولوجيين والجيومورفوجيين فى بقية أجزاء بريطانيا يستخدمون تعبير « الطفّل الجليدى» Glacial Boulder Clay ليدل على نفس المعنى أما فى الولايات المتحدة الأمريكية فيستخدم الباحثون تعبير «تيل» مثل الباحثون فى أسكتلندا .

الحبيبات الناعمة وخاصة الصلصال وتتميز كذلك بأنها غير طباقية، وغير متجانسة التركيب، ويزداد سمك هذه الرواسب فى المناطق الحوضية المقعرة الشكل وفى بطون أودية ما قبل الجليد فى حين يقل سمكها كثيراً فى المناطق القبابية وبأعالى تلال السطح الأصلى للمنطقة (سطح ماقبل الجليد Preglacial Surface). وتتمثل هذه المجموعة من السهول فى مناطق واسعة من شمال كندا واسكتلند، وبمناطق شمال غرب أوربا التى تعرضت لفعل الجليد البلايوستوسينى.

ب - السهول والمراوح الفيضية الجليدية: Outwash Plains and Fans

عند هوامش الغطاءات الجليدية وبالقرب من الركامات النهائية الجليدية كثيراً ما يتعرض الجليد لفعل الانصهار والتراجع الخلفى التدريجى . وعلى ذلك تنساب من تحت الجليد كميات هائلة الحجم المياه المنصهرة التى تنحدر بدورهامع الانحدار العام، وتكون مجارى نهرية غير واضحة الاتجاه تماماً . وتعمل هذه المجارى الأخيرة على نقل مفتتات صخرية كبيرة الحجم ويرجع مصدرها إلى المفتتات الصخرية التى كان يحملها النهر الجليدى نفسه من ناحية ، وإلى تلك التى نحتتهاالمياه المذابة من صخور المناطق التى شقت فيها مجاريها من ناحية أخرى. وعندما تضعف قوة اندفاع هذه المياه المذابة تتراكم حمولتهاعلى شكل فرشات هائلة الحجم من الرواسب الحصوية الرملية غير المتجانسة التركيب أو الشكل، ويبدو فوق سطح الأرض على هيئة صورة «مروحة اليد» ومن ثم يطلق عليها تعبير السهول والمراوح الفيضية الجليدية.

وتختلف سهول الطفّل الجليدى « التيل» Till Plains عن مجموعة السهول والمراوح الفيضية الجليدية، ذلك لأن الأولى تتكون فى المناطق التى غطيت بالغطاءات الجليدية، فى حين تتكون الثانية خارج نطاق المناطق الجليدية وبفعل المياه المنصهرة تبعاً للتراجع الخلفى للجليد. كما تتألف السهول والمراوح الفيضية الجليدية من رواسب ومفتتات صخرية تتدحرج مع المياه المنصهرة أو تنقل معها بواسطة التعلق ، ومن ثم فيعاد تشكيل

هذه الرواسب بفعل المياه الجارية، أما رواسب الطفل الجليدى فتتشكل بفعل الجليد وحده.

وتعد السهول الواقعة إلى الجنوب من منطقة البحيرات العظمى الأمريكية (سوبيريور و ميتشجان و هورن و إيرى و أونتاريو) أظهر مثال لمجموعات السهول التى تكونت بفعل الجليد خلال عصر البلايوستوسين وفى هذه المناطق تنتشر رواسب الطفل الجليدى، حيث تكونت فوق مقعرات السطح الأصل القديم، كما يزداد انتشار السهول والمراوح الفيضية الجليدية الناتجة عن فعل المياه المنصهرة أسفل الجليد البلايوستوسينى. وتبعاً لتغير منسوب سطح البحيرات الأمريكية السابقة الذكر واختلاف أشكالها وامتداداتها من فترة إلى أخرى، تركت بعض هذه البحيرات (تبعاً لانكماشها) سهولاً بحيرية جليدية واسعة الامتداد وضعيفة الانحدار . (شكل ١٧٩).

وقد اعتقد بعض الكتاب أن عوامل التعرية الجليدية وشبه الجليدية قادرة على تكوين سهول تحاتية جليدية مختلفة. بل أكد بعض آخر منهم حدوث دورة تحاتية جليدية وشبه جليدية فى كل من المناطق التى تأثرت بفعل الجليد . ولكن ينبغى أن نشير إلى حقيقة هامة، وهى أن عصر البلايوستوسين يعد عصراً قصيراً جداً فى المقياس الجيولوجى الطويل إذ لا يزيد عمره الجيولوجى عن مليون سنة فقط، فإذا فرضنا أن نحو نصف هذه المدة كانت عبارة عن فترات دفيئة أو شبه دفيئة، فيتبقى إذن النصف الآخر من هذا العصر الذى تعرضت فيه مناطق سطح الأرض لكل من فعل التعرية الجليدية وشبه الجليدية الحقيقية. ومهما كان مدى فعل هذه العوامل من القوة والشدة فإنه من الصعب اعتبارها قادرة على تكوين سهول تحاتية مترامية الأطراف ذلك لأنه يلزم لنمو هذه السهول الأخيرة مدة طويلة من الزمن الجيولوجى

وإن كانت عوامل التعرية الجليدية وشبه الجليدية قادرة على تكوين سهول تحاتية ، فيمكن القول بأن مثل هذه السهول تعتبر مناطق سهلية

محدودة الامتداد . فقد تلاحظ مثل هذه السهول تحت أقدام الحلبات الجليدية تبعاً للتراجع الخلفى التدريجى لهذه الظواهر التضاريسية الأخيرة. وقد أوضح بعض الباحثين كذلك أن الغطاءات الجليدية تعمل على تسوية السطح وتكوين سهول تحاتية متراميه الأطراف كما حدث فى الكتلة اللورنشية فى أمريكا الشمالية. وأكد الأستاذ هنرى بوليج فى عام ١٩٥٢ بأن فعل الغطاءات الجليدية لا يتعدى سوى تعديل المظهر الجيومورفولوجى لسطح تعرية سابقة أى بمعنى آخر تعديل مظهر سهول تحاتية كانت أصلاً موجودة من قبل[١] .



شكل (١٧٩) التوزيع الجغرافى لبعض أنواع من السهول التى نشأت بفعل جليد البلايوستوسين إلى الجنوب من البحيرات العظمى الأمريكية.

(١) حسن أبو العينين « أصول الجيومورفولوجيا » - الأسكندرية - ١٩٦٦ و الطبعة الحادية عشرة - الأسكندرية (١٩٩٥)

الفصل الثالث عشر

الجــــزر

يقصد بتعبير جزيرة « An Island » مساحة ما من سطح الأرض بحيث تحيط بها المياه من جميع الجهات . ولم يحدد الباحثون تماماً مدى مساحة الجزر ، وعلى ذلك أطلق الأستاذ ماكيندر Mackinder على كل من يابس قارات أفريقيا وأمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية، وأوراسيا، وإستراليا ، تعبير « جزر العالم الكبرى World Islands».

ولكن رجع الأستاذ سوين Swayne في عام ١٩٥٦[1] بأن تعبير جزيرة ينبغي أن يقتصر فقط على أراضي اليابس المحدودة المساحة، والأصغر حجماً ومساحة من القارات ، والمحاطة بالمياه من كل الجهات. وذكر بأن قارة استراليا ربما تحتل الحد الفاصل بين مجموعة الجزر ، ومجموعة قارات اليابس . حيث إنها تعد من حيث المساحة أصغر القارات في حين تمثل في نفس الوقت اكبر الجزر مساحة .

وقد تقع بعض مجموعات الجزر المختلفة المساحة في داخل المجارى النهرية نفسها، ولكن في هذه الحالة ينبغي أن نشير إليها بتعبير الجزر النهرية River Islands تمييزاً لها عن مجموعات الجزر البحرية أو المحيطية Oceanic Islands. ونفس الحال كذلك بالنسبة للجزر البحيرية التي تقع داخل البحيرات . وعندما يذكر لفظ جزر فقط (أى دون تمييز) فإن المقصود بهذا التعبير في هذه الحالة مجموعات الجزر التي تقع في الأحواض البحرية والمحيطية ، والتي تمثل أهم مجموعات الجزر فوق سطح هذا الكوكب.

ولا تختلف الجزر فيما بينها من حيث المساحة فقط، بل كذلك من حيث الموقع، (فهناك جزر متناثرة، وأخرى تظهر على شكل مجموعات متجاورة) و**الشكل العام** (ومنها جزر واضحة الاستدارة Well rounded وأخرى طويلة Elongated، أو قوسية الشكل ، وتعرف الأخيرة باسم الأقواس الجزرية Island Arcs)، ومن حيث **التضاريس والمنسوب المحلى**

(ومنها جزر منخفضة وأخرى مرتفعة المنسوب بالنسبة لمستوى سطح البحر) ،ومن حيث التركيب الجيولوجي والنشأة (ومنها جزر بركانية، وأخرى قارية أو مرجانية النشأة). وقد جرى العرف بين الباحثين على تصنيف مجموعات الجزر فوق سطح الأرض على أساس اختلاف التركيب الجيولوجى لصخورها،وتنوع نشأتها والعوامل المختلفة التى أدت إلى تكوينها. وعلى هذا الأساس يقسم الباحثون الجزر إلى ثلاث مجموعات رئيسية تتمثل فيما يلى:

أ- الجزر البركانية.

ب - الجزر القارية.

جـ - الجزر المرجانية.

أولاً - الجزر البركانية

تنتشر مجموعات الجزر البركانية فى المحيطات وبوجه خاص فى حوض المحيط الهادى . وتعزى نشأة هذه المجموعة من الجزر إلى حدوث الثورانات البركانية التى أنتابت قاع المحيط خلال أزمنة جيولوجية مختلفة، وتجمع المصهورات واللافا على شكل أكوام ومخروطات أو جزر بركانية. أى لا تتكون هذه الجزر من صخور يرجع أصلها أو مصدرها إلى الصخور القارية أو أنها انفصلت عن اليابس المجاور لها ، بل أنها تتألف من صخور باطنية أندفعت من باطن قاع المحيط نفسه. وتتكون الجزر البركانية من أحجام هائلة من المصهورات اللافية، إذ يبلغ متوسط ارتفاعها عامة نحو ١٥,٠٠٠ قدم فوق أرضية المحيط المجاورة لها.

وقد وجد الباحثون أن هناك علاقة قوية بين التوزيع الجغرافى لكل من التلال والجبال المحيطية Se a-mounts ومجموعات الجزر البركاية. فإذا كانت المصهورات اللافية البركانية التى تنبثق من أرضية المحيط غير كافية لظهورها على شكل جزر ترتفع أركانها فوق سطح مياه المحيط ، وتبدو بدورها على شكل تلال وجبال بحرية. وتنتشر مجموعات التلال والجزر

البركانية فوق أجزاء واسعة من أرضية المحيط الهادى بوجه خاص، وذلك يرجع إلى انتشار مناطق الضعف الجيولوجى الكبرى التى تحيط بحوض المحيط الهادى، وتنبثق منها المصهورات البركانية، ومن ثم يطلق عليها اسم حلقة النار Ring of Fire . ويقدر بعض الباحثين أن قاع المحيط الهادى يشغله مجموعات هائلة من التلال المحيطية يزيد عددها عن عشرة الاف تل بحرى ويقدر متوسط ارتفاعها بنحو ٩٠٠٠قدم، ومتوسط امتداد كل منها نحو ١٠٠ميل ، ومع ذلك لم تنجح أعالى تلك التلال البحرية من الظهور فوق سطح مياه المحيط لتكون ما يعرف باسم الجزر البركانية.(١).

وأكدت نتائج الأبحاث الجيولوجية انتشار مجموعات الجزر البركانية فى المحيط الهادى بالمناطق التي تعرضت للحركات التكتونية العنيفة فى أواسط الزمن الجيولوجى الثالث وما زال بعضها يتعرض لبعض الحركات التكتونية فى الوقت الحاضر. ويرتفع اليوم فوق قاع المحيط الهادى نحو ٢٠٠٠ جزيرة بركانية ، ويقدر مجموع مساحتها فى المحيط نحو ٧٠,٠٠٠ ميل مربع . وأشهرها جميعاً مجموعة جزر هاواى ومن ثم يعتبر المحيط الهادى فريداً من نوعه حيث لا تضم أرضية أى محيط أخرغيره هذا العدد الهائل من الجزر البركانية. ويطلق على الجزر البركانية فى المحيط الهادى اسم **الجزر المرتفعة** High Islands وذلك تبعاً لارتفاع منسوبها فوق سطح مياه الميحط، وشدة تضرسها ومن ثم تتنوع فيها الحياة النباتية بل والحيوانية، فى حين يطلق على الجزر المرجانية النشأة اسم **الجزر المنخفضة** Low Islands تبعاً لانخفاض منسوبها واستواء سطحها وتكوينها من صخور جيرية مرجانية فقط، ويتمثل فوقها عائلات نباتية محدودة جداً تبعاً لمسامية صخورها، وبالتالى ندرة المياه الجارية فوق سطحها وفقر تربتها .

---

(١) حسن أبو العينين (دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات) بيروت - ١٩٦٧ والطبعة التاسعة - الأسكندرية (١٩٩٦)

وقد تبين أن معظم مجموعات الجزر البركاية النشأة بالمحيط الهادى حديثةالتكوين تبعاً لخشونة سطحها وشدة تضرسه . وما زال الكثير منها يتعرض فى الوقت الحاضر لحدوث الثورانات البركانية الحديثة. ولهذا أوضح وينتوارث Wentwoth بأن مجموعة جزر هاواى لم تبلغ بعد مرحلة الشباب من سلسلة التطور الجيولوجى.

وأوضح الباحث ستيرن Stearns فى عام ١٩٤٥ بأن الجزر البركانية تمر عادة بدورة نمو تحدث على فترات متعاقبة تتلخص فيما يلى:

أ - **مرحلة الطفولة**: ويبدأ تكوين قاعدة الجزر البركانية خلال هذه الفترة وذلك تبعاً لتجمع صخور الأوليفين البازلتية. وخلال هذه المرحلة ، يزداد اندفاع المصهورات البركانية من باطن الأرض.

ب - **مرحلة الشباب**: تتعرض جوانب فوهة البركان المحيطى خلال هذه المرحلة إلى السقوط والانهيار ومن ثم تتكون حوائط شديدة الانحدار حول أعالى البركان، وتتسع فى نفس الوقت أعالى المخروط البركانى.

جـ - **مرحلة الكهولة**: وخلال هذه المرحلة يتعرض المخروط البركانى المحيطى، للامتلاء التدريجى ، ويتميز سطحه بالاستواء العام تبعاً لزيادة حجم الرواسب.

وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجى المختلفة أن معظم الصخور البركانية لهذه الجزر بالمحيط الهادى تعزى إلى الانبثاقات البركانية التى تعرض لها قاع هذا المحيط خلال الزمن الجيولوجى الثالث.

ثانياً: الجزر القارية

اختلفت أراء الكتاب حول تحديد معنى « الجزر القارية» . وقد ميز بعض الكتاب بين نوعين من الجزر القارية هما:

أ - **جزر قارية النشأة**: ويقصد بها تلك الجزر التى انفصلت عن القارات المجاورة لها بفعل الحركات التكتونية خلال العصور الجيولوجية المختلفة. ومن ثم تتركب هذه الجزر من صخور متنوعة إلا أنها كثيراً ما

تشابه التركيب الجيولوجى العام ليابس القارات المجاورة لها والتى انفصلت عنه ومن بين أمثل هذه المجموعة جزر اليابان، وأندونيسيا، وجرينلند.

ب - جزر قارية - محيطية النشأة: ويقصد بها تلك الجزر التى تتركب صخورها غالباً من المصهورات اللافية السيالية، أى بمعنى آخر أنه على الرغم من أن تكويناتها لم تنفصل عن اليابس المجاور لها ، إلا أنها تتألف من تكوينات صخرية سيالية قارية ، وتقع كذلك فيما وراء حد الأندسيت (أى المناطق الهامشية لأطراف القارات) ويقتصر تكوين مثل هذه المجموعات من الجزر على طول المناطق الضعيفة جيولوجياً والتى تقع فيما بين المناطق الحدية لليابس والماء. وقد ميز بعض الجيولوجيين بين نوعين متشابهين للمجموعتين السابقتين من الجزر يتمثلان فيما يلى:

(أ) الجزر القارية التى نتجت بفعل هبوط أجزاء من القارات أو تزحزحها خلال عصور جيولوجية مختلفة . ومن أهم الجزر التى تتبع هذه المجموعة، جزر أيسلند ، وجرينلند ،وجزر الأرخبيل الواقعة فى شمال أمريكا الشمالية،حيث انفصلت هذه الجزر جميعاً عن كتلة القارة القطبية الشمالية القديمة بفعل عوامل الهبوط الأرضى Subsidence . وينتمى إلى هذه المجموعة كذلك جزيرة تيرادلفويجو التى انفصلت عن الرأس الجنوبى لأمريكا الجنوبية ، وجزيرة مدغشقر التى انفصلت عن جنوب شرق أفريقيا ، وجزيرة سيلان التى انفصلت عن شبه القارة الهندية الباكستانية ،وجزيرة هينان التى انفصلت عن كتلة جنوب شرق الصين، وجزيرة تسمانيا التى انفصلت عن إقليم جنوب شرق استراليا.

(ب) الجزرالقارية التى نشأت أساساً بسبب وقوعها فى مناطق ضعف جيولوجية كبرى ، وصاحب نشأتها هبوط قارات اليابس من ناحية ، وتعرض هذه هذه الجزر لثورانات بركانية من ناحية أخرى وتتمثل الجزر التابعة لهذه المجموعة فى مجموعات الأقواس الجزرية التى تنتشر بوجه خاص فى المحيط الهادى.

وقد تظهر بعض الجزر البركانية النشأة الصغيرة الحجم ، فى قاع بعض المجارى النهرية العريضة الكبيرة الحجم ، مثل نهر النيل، والأمزون ، والكانج، وإيراوادى وكولمبيا، وتنشأ هذه الجزر النهرية البركانية عندما يشق النهرمجراه فى هضاب بركانية، أو مرور مجرى النهر فوق عروق وسدود نارية،ومن ثم يعمل النهر على نحت الأجزاء الأقل صلابة منها، فى حين تظهر بقاياها الشديدة الصلابة على شكل جزر صغيرة الحجم، وتؤلف فى مجموعها مناطق جنادل من الصعب اجتيازها عن طريق الملاحة النهرية.

أما البيولوجيون فيقسمون الجزر على أساس العائلات النباتية والحيوانية التى تتمثل فوقها إلى نوعين رئيسيين هما:

أ - **جزر قارية**: ويقصد بها فى هذه الحالة تلك الجزر التى تتكون فوقها مجموعات من العائلات النباتية والحيوانية تشبه تلك التى تتمثل على شواطئ القارات المجاورة لها.

ب - **جزر محيطية**: ويقصد بها تلك الجزر التى تشتمل على أحياء نباتية وحيوانية تختلف تماماً عن تلك التى تتمثل على اليابس المجاور. ومن ثم تتكون فوق هذه الجزر المحيطية كائنات نباتية وحيوانية محلية خاصة Endemic Species

ويقصد بالجزر القارية فى هذه الدراسة تلك التى تتألف من الصخور القارية، ثم انفصلت عن اليابس المجاور بفعل عوامل ما ومن ثم ظهرت على شكل جزر قارية النشأة، متناثرة فوق قاع المحيط المجاور ولم تستطع مياه المحيط تغطيتها كلية بالمياه.وقد يرجع سبب انفصال هذه الجزر القارية النشأة عن اليابس إلى الحركات التكتونية والتى قد تتمثل فى حركات الهبوط الأرضى أو حركات التصدع . ومن بين أهم أمثلة هذه المجموعة من الجزر الأقواس الجزرية بالمحيط الهادى، ومنها: جزر الوشيان وجزر كوريل وجزر اليابان وجزر الفلبين وجزر جنوب شرقى آسيا وجزر نيوزيلند وجزر نيوكاليدونا. وأهم الأدلة التى تشير على أن النشأة القارية لهذه الجزر، إنها تتركب جيولوجياً من صخور السيال القارية، ويشبه

نظام بنية صخورها ذلك الذى يتمثل على القارات المجاورة لها. وفيما يلى عرض موجز عن الخصائص العامة لبعض هذه الأقواس الجزرية القارية النشأة.

أ- قوس جزر كوريل: يمتد هذا القوس الجزرى من كمتشتكا Kamchatka شمالاً إلى جزيرة هو كايدو Hokkaido جنوباً. وقد دلت الدراسات الجيولوجية على وجود طبقات سميكة من الرواسب القارية خاصة فوق الجزء الشمالى لهذا القوس . وتبين كذلك بأنها رواسب قديمة لا ترجع إلى خصائص توزيع اليابس والماء فى الوقت الحاضر ، بل أرسبت خلال عصور جيولوجية سابقة. وإن دل هذا على شئ فإنما يدل على أن هذا القوس الجزرى كان جزءاً من اليابس المجاور فى عصور جيولوجية سابقة، ثم تبعاً لتوالى حدوث العمليات التكتونية انفصل عن اليابس المجاور بواسطة البحار الضحلة ش



- خوانق محيطية

١- الوشيان

٢- كوريل

٣- اليابان

٤- ريو كيو

٥- بونين

٦- ماريانا

٧- ياب

٨- بالاو

٩- الفلبين

١٠- اندونيسيا

شكل (١٨٠) الأقواس الجزرية القارية فى شرقى آسيا، لاحظ ارتباط توزيعها الجغرافى مع امتداد الخوانق الطولية المحيطية.

ب - قوس جزر اليابان: ترتبط مجموعة الجزر اليابانية باليابس المجاور بصلات جيولوجية قوية. فقد عثر فى بعض بقاع من الجزر اليابانية على كتل صخرية من الجرانيت مختلطة مع تكوينات العصر البرمى. وقد أوضحت الدراسات الجيولوجية بأنه ليست هناك أدلة تثبت حدوث تكوينات العصر البرمى بجزر اليابان نفسها. وأكد كوباياشى Ko-bayashi أن مصدر هذه الصخورالجرانيتية البرمية هى الكتلة السدية النارية التى تظهر معالمها على سطح الأرض بالقرب من فلاديفستك Vi-ladivustock . وينفصل بحر اليابان الجزر اليابانية عن اليابس المجاور ، ويبلغ متوسط عمق هذا البحرنحو ٣٦٠٠ قدم . وقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن مناطق السدود البركانية التى تشغل أرضية بحر اليابان اليوم كانت أرضاً يابسة خلال الزمن الجيولوجى الرابع، وساعدت بدورها على هجرة الفيلة الأسيوية الى جزر اليابان [١].

جـ - قوس جزر الفلبين : يطلق على القسم الشمالى منها قوس ريوكيو Riu Ku وينفصل هذا القوس الجزرى عن اليابس المجاور بواسطة بحر الصين الشرقى الضحل والذى يبلغ متوسط عمقه نحو ٢٠ قدماً . وقد دلت الدراسات الجيولوجية على تشابه التركيب الجيولوجى ونظام بنية الطبقات الصخرية بين كل من قوس جزر الفلبين واليابس الأسيوى المجاور. فيتمثل فى كل منهما صخور جيرية ترجع إلى الزمن الجيولوجى الثالث ، وصخور بركانية من نفس ذلك الزمن الأخير مما يؤكد أن قوس جزر الفلبين قارى النشأة. (انظرشكل ١٨٠).

د - قوس جزر إندونيسيا: يعد هذا القوس الجزرى فى الحقيقة قوساً مزدوجاً ، يقسمه بحر بندا Banda وبحر فلورس Flores Sea إلى مجموعتين من الجزر هما :

أ- المجموعة الأولى وتشمل القوس الشمالى: وتتألف من جزر بورنيو Borneo، وسيليبيس Celebes، ونيو غينيا New Guinea .

---

(١) حسن أبو العينين (دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات) بيروت – ١٩٦٧ والطبعة التاسعة – الأسكندرية – مؤسسة الثقافة الجامعية – (١٩٩٦)

ب ـ المجموعة الثانية وتشمل القوس الجنوبي : وتتكون من عشرات من الجزر أهمها جزر سومطره Sumatra ، وجاوه Java، ولومبروك ، وفلورس Flores، وتيمور Timor، وتنيمبر Tenimber.

ويعد بحر بندا أقصى امتداد للبحار الحديةالتى تتبع شرق القارة الأسيوية ، أما جزيرة جاوه وسومطره وبعض الجزر الصغيرة المجاورة لهما ، فتقع جميعها فوق رفرف قارى هابط وعلى هذا الرفرف الآخير نجح الجيولوجيون فى كشف مجرى نهر مولنجراف Molengraaf المنغمر البلايوستوسيني. وفى بداية الزمن الجيولوجى الثالث كانت هذه الجزر أرضاً قارية متصلة بعضها بالبعض الآخر، ولا يفصل بينها سوى بحار قارية هامشية Epicontinental Seas. وخلال عصر الميوسين تعرضت هذه البحار لفعل الهبوط الأرضى واتسعت المسطحات المائية بين مجموعات الجزر . وقد دلت الدراسات الجيولوجية كذلك على أن التركيب الصخرى لهذه المجموعات الجزرية القارية يعد تركيباً معقداً ، بخلاف التركيب الصخرى البسيط لمجموعات الجزر البركانية النشأة، فتتركب صخور المجموعة الأولى عادة من صخور متنوعة النشأة (نارية ومتحولة وإرسابية) من أصل قارى، وتشكل نظام بنيتها بحركات تكتونية مختلفة خلال عصور جيولوجية متعاقبة، فى حين تتألف مجموعات الجزر البركانية النشأة من اللافا والمصهورات البركانية وقد يتجمع على حوافها الهامشية الشعاب المرجانية.

ثالثاً- الجزر المرجانية

تنمو الجزر المرجانية فى بعض مياه البحار الاستوائية والمدارية، وتتألف هذه الجزر من كتل صخرية جيرية كانت أصلاً أجزاء من هياكل عظمية صلبة لحيوان المرجان .وعند اندثار الهياكل الجيرية للكائنات البحرية المختلفة وتجمع الهياكل المرجانية واختلاطها بمعادن مختلفة تتكون صخور متنوعة من الصخور المرجانية ، أى بمعنى آخر فإن الجزر المرجانية تعد عضوية النشأة. ويعتبر الأستاذ داروين Darwin أول من

عرض لدراستها دراسة علمية وذلك منذ عام ١٨٤٢(١) . وقد صنف داروين الظواهر التى تبدو عليها أشكال المستعمرات المرجانية فيما يلى:

أ - الجزر الحلقية المرجانية: Atolls

وهى عبارة عن جزر تتألف من حيوان المرجان، ذات ارتفاع محدود فوق مياه سطح البحر ، وتحصر بينها بحيرة مستنقعية واسعة ضحلة، وقد تتصل هذه البحرية بمياه البحر بواسطة فتحات ضيقة ضحلة تفصل بين هذه الجزر المرجانية.

ب - الحواجز الحدية: Fringing Reefs

وهذه تتألف من حواجز مرجانية تظهر فوق سطح الماء فى أوقات الجزر . وتتمثل هذه الحواجز على طول خط الساحل نفسه أو تقع بجواره ، ويتراوح متوسط عرضها (من خط الساحل إلى داخل البحر) نحو ميل واحد، وتتميز هذه الحواجز بأن لها انحدار بسيط متجه صوب البحر.

جـ - الحواجز السدودية: Barrier Reefs

وهى تشبه الحواجز السابقة من حيث تكوينها وشكلها العام إلا أنها تختلف عنها من حيث الموقع ذلك لأنها تقع غالباً على بعد عدة أميال من خط الساحل ، بل وقد تنفصل عن الساحل بواسطة البحيرات المستنقعية الضحلة. ومن أشهرها الحاجز المرجانى الكبير فى شمال شرق استراليا.

ويعيش المرجان عادة فى جماعات ويكون مستعمرات تتألف من مجموعات متعددة من حيوانات المرجان الفردى Polyps أو تلك المركبة. وينمو المرجان بمياه البحر افقياً أو رأسياً ، ويلاحظ أن الفرق بين المرجان الميت والآخر الحى ، هو أن النوع الأولى يكون غالباً متحجراً أو متماسكاً Cementedومختلط به تجمعات هائلة من الطحالب الجيرية والكلسية منها تلك المعروفة باسم Nullipores

---

(1) Darwin, C.,"Voyage Of the Beagle" , London, (1842).

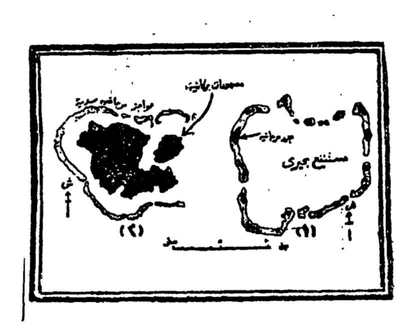
ويتوقف سرعة بناء الحواجز المرجانية على مدى نمو حيوان المرجان وتكاثره والذى يستمد غذاؤه من بعض الكائنات البحرية مثل الطحالب .ويحتاج المرجان إلى بيئة بحرية خاصة بحيث لا تقل درجة حرارة المياه عن ٦٨ْ ف . وعلى ذلك فإن نمو الجزر الحلقية والحواجز المرجانية مقصوراً بين دائرتى عرض ٣٠ْ شمالاً وجنوباً ، اللهم إلا فى بعض الحالات الخاصة حيث قد يتأثر نمو المرجان بمرور التيارات البحرية الدفيئة. ومن المستعمرات المرجانية التى تتبع المجموعة الأخيرة، هى تلك التى تتمثل حول جزيرة برمودا Bermudas حيث تأثرت بمياه تيار الخليج الدفئ . ولذا يغلب تكوين الجزر والحواجز المرجانية على طول السواحل الغربية للمحيط الأطلسى عنها إذا ما قورنت بتوزيعها على السواحل الشرقية للمحيط ، حيث تتعرض السواحل الأولى لفعل التيارات البحرية الدفيئة.

ويلزم أن تكون المسطحات المائية التى ينمو فيها المرجان صافية ونسبة الأملاح فيها كبيرة. وعلى ذلك لا ينمو المرجان عند مصبات الأنهار حيث تصب الأنهار فى مياه البحر كميات هائلة من الطمى والطين تعرقل نمو المرجان. ويزداد نمو المرجان عادة على الشواطئ البحرية التى تتعرض لتلاطم الأمواج وتأثير المد ، والتيارات البحرية الدفيئة. وقد اثبتت الدراسات البيولوجية ان التيارات البحرية تمد المرجان الحى بكميات كبيرة من الأوكسجين والغذاء اللازم لنموه .ولا يستطيع المرجان البقاء طويلاً فوق سطح الماء وأن يتعرض للهواء الخارجى، وعلى ذلك لا يظهر المرجان عادة فوق مستوى سطح الجزر أو المد المنخفض.ويحتاج المرجان كذلك إلى ضوء الشمس ولذا لا ينمو عادة على أعماق تبعد عن ٢٥قامة من سطح الماء.وعلى طول الساحل الغربى للبحر الأحمر بجمهورية مصر العربية تنتشر المستعمرات المرجانية فيما عدا المسطحات المائية التى تقع عند مصبات الأودية شبه الجافة .

الجزر المرجانية الحلقية

يطلق تعبير « الجزر المرجانية الحلقية» Atolls على مجموعات الجزر

التى ترجع نشأتها إلى تراكم حيوانات المرجان ومستعمراته بحيث تكون الشكل العام لهذه الجزر . ويشيع انتشار هذه الجزر فى المحيط الهادى ، ويلاحظ انها تظهر على شكل حلقة دائرية من الجزر الصغيرة المساحة تحصر بينها مستنقع بحرى كما هو الحال مثلاً بالنسبة لجزيرة فانيكورو (مجموعة جزر كارولين بالمحيط الهادى) أو قد يتوسطها تراكمات من مصهورات بركانية كما هو الحال بالنسبة لجزيرة كوهاس بالمحيط الهادى. (شكل١٨١)



شكل (٧١١) الجزر المرجانية الحلقية

١ جزيرة فانيكورو- من مجموعة جزر كارولين .

٢ - جزيرة مرجانية سدية - جزيرة كوهاس.

وقد تبين أن كل الجزر المرجانية بالمحيط الهادى تقع فوق صخور نارية بركانية إلا أن هذه المصهورا ت الأخيرة لا يزيد منسوبها عن ١٥ قدم فوق مستوى سطح البحر وعلى ذلك هيئت فى نفس الوقت للمستعمرات

المرجانية بيئة صالحة لنموها وتكاثرها، (خاصة الجزر الواقعة فى المياه المدارية وتتعرض لفعل تلاطم الأمواج) وتبعاً لانخفاض منسوب هذه الجزر عن مستوى سطح البحر. فيطلق عليها البحارة اسم الجزر المنخفضة Low Islands تتمييزاً لها عن الجزر البركانية المرتفعة.

وعلى ذلك تتألف الجزر المرجانية من الصخور الجيرية التى من أصل عضوى . وتتكون هذه الصخور خلال مدة طويلة من الزمن تبعاً لاندثار الكائنات البحرية التى تستخلص الجير من مياه البحر وخاصة حيوانات المرجان.

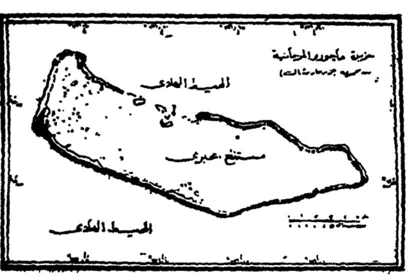


شكل (١٨٢) نماذج لبعض أنواع الجزر بالمحيط الهادى.

وتختلف الجزر المرجانية الحلقية فيما بينها من حيث الحجم إلا أنها تتشابه جميعاً فى خاصية أساسية وهى انخفاض منسوبها بالنسبة لمستوى سطح البحر، كما أنها تبدو على شكل أشرطة قوسية من الأراضى المستوية السطح تكون مع بعضها البعض حلقة متسعة تحصر بينها بحيرة مستنقعية ضحلة Lagoon ويوضح (شكل ١٨٢) ، نماذج متنوعة للجزر المرجانية الحلقية بالمحيط الهادى . (جزيرتا راتانوجا،

وتونجاريفا) من جزر كوك (وجزيرة أفيا - إحدى جزر واليس).

ولاتؤلف الجزر المرجانية الحلقية دائرة هندسية دقيقة الشكل، بل غالباً ما يبدو أحد أقطارها أكبر طولاً عن بقية الأقطار الأخرى، ومن بين أمثلة ذلك جزيرة ماجور (من مجموعة مارشال)، وجزيرة كانتون Canton (إحدى مجموعة جزر فيونكس Phoenix) . وتنفصل أشرطة الجزر المرجانية الحلقية عن بعضها البعض بواسطة مداخل بحرية ضيقة ضحلة (تعرف باسم موتس Motus) ، وقد يرتفع فيها منسوب المياه إذا ماتعرضت هذه المضايق لعمليات الهبوط التدريجي. وتبعاً لضيق الإتساع العرضى للجزر المرجانية فإن مساحة أراضى هذه الجزر الحلقية المرجانية تعد بسيطة جداً إذا ما قورنت بمساحة البحيرة الداخلية التى تنحصر بين أشرطة هذه الجزر (شكل ١٨٣).



شكل (١٨٣) جزيرة ماجور المرجانية الحلقية (مجموعة جزر مارشال)

وتبعاً لانخفاض منسوب سطح الجزر المرجانية الحلقية عن مستوى سطح البحر المجاور، فمن أهم مشاكل الحياة فوق هذه الجزر هو كيفية الحصول على المياه العذبة اللازمة لحاجات السكان . فمن الطبيعى أن أى مياه جوفية بهذه الجزر تكون شديدة الملوحة تبعاً للتكوين الصخرى الجيرى للجزر ونادراً ماتتمثل أنهار دائمة فوق الجزر المرجانية أو مستنقعات تحتوى على بعض المياه العذبة لأن هذه الجزر تتعرض دائماً لموجات البحر العالية(تبعاً لانخفاض منسوبها) كماأن المياه سرعان ما تتسرب فى الصخور الجيرية العالية المسامية.

ولكن قد تنمو بعض أشجار المانجروف على الحواف الحدية لبعض الجزر المرجانية خاصة إذا ما اختلطت الصخور الجيرية برواسب طينية أو رملية أو مواد عضوية أخرى تقذفها الأمواج أو الرياح أو تتركها الطيور البحرية كما هو الحال بالنسبة لأشجار المانجروف التى تحيط بجزيرة هوب المرجانية بحاجز استراليا الكبير (شكل ١٨٤)



شكل (١٨٤) جزيرة هوب - حاجز استراليا الكبير - لاحظ نموغابات المانجروف التى تنمو فى الرواسب الحصوية.

وقد تتعرض البحيرة الداخلية لعمليات الرفع التدريجى ومن ثم تتكون جزر حلقية مرتفعة Raised atoll islands، ومن هنا تصبح إمكانية العثور على المياه الجوفية العذبة أمراً أقل صعوبة عما هو الحال فوق الجزر المرجانية المنخفضة المحدودة المساحة. ومن بين أمثلة الجزر المرجانية الحلقية المرتفعة، جزر ماكتيا Makatea ونارو Nauru ، وجونستون Johnston ، وبيكر Baker ، وهولاند Howland ، ومرقص Marcus بالمحيط الهادى.

وقد تحتوى أعالى بعض الجزر البركانية - العالية على تكوينات من

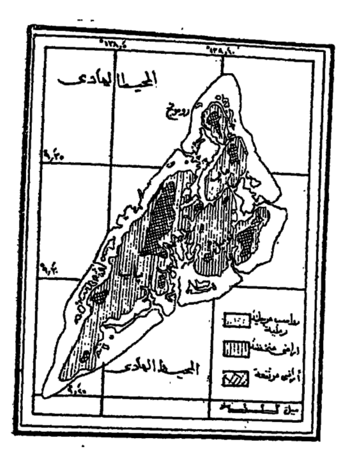
الصخور الجيرية المرجانية، وإن دل ذلك على شئ فإنما يدل على أن هذه الجزر البركانية كانت فى بداية نشأتها قريبة من مستوى سطح البحر، وتكون فوقها بعض المستعمرات المرجانية، تعرضت بعد ذلك لعمليات الرفع التدريجى . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الجزر جزيرة جوام Guam [1].

وقد أطلق بعض الكتاب تعبير « الجزر المركبة Complex Islands » على تلك الجزر البركانية التى تعرضت لعمليات الرفع التكتونية داخل نطاق المستنقع البحيرى الداخلى Lagoon . إلا أن البعض الآخر يفضل أن يطلق على مثل هذه الجزر اسم « جزر حلقية شبه مرجانية» Almost atalls ومن أجمل أمثلة هذه الجزر شبه المرجانية مجموعة جزر (ياب) فى المحيط الهادى (١٣٨,٥° شرقاً ، ٩,٣٠° شمالاً) . وتتألف هذه الجزر (ياب - توميل - ماب - رومونج) من صخور بركانية تعرضت لعمليات الرفع التدريجى، ويختلف منسوبها من منطقة إلى أخرى حيث تمثل أراضى مرتفعة (٨٠٠قدم فوق مستوى سطح البحر) وأخرى منخفضة (أقل من ٣٠٠قدم فوق مستوى البحر)، وتحيط هذه التكوينات البركانية المستعمرات المرجانية التى تمتد على شكل حلقة مثلثة الشكل بحيث تمثل جزيرة توميل رأس المثلث وجزيرتا رومنج وياب قاعد المثلث (شكل١٨٥).

نشأة الجزر المرجانية الحلقية:

اختلفت الآراء فيما يختص بتفسير نشأة الجزر المرجانية الحلقية، وتعد أقدم التفسيرات تلك التى رجحها العالم تشارلس داروين Charles Darwin فى كتابه Voyage of the Beagle فى عام ١٨٤٢م [1] وقد لاحظ داروين أن هناك علاقة مترابطة بين كل من الجزر المرجانية والحواجز الحدية والسدية المرجانية، ووقوعها فوق المصهورات البركانية. وقد رجح داروين أن نشأة الجزرالحقية المرجانية تمر بدوره نمو خاصة تتلخص فيما يلى:

(١) حسن أبو العينين « دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» بيروت ١٩٦٧والطبعة التاسعة - الأسكندرية (١٩٩٦)



شكل (١٨٥) مجموعة جزر ياب بالمحيط الهادى.

أ - المرحلة الأولى: فى هذه المرحلة يبنى المرجان لنفسه مستعمرات مرجانية على جوانب المصهورات البركانية أو الجزر البركانية بالمحيط وخاصة فى المياه المدارية التى تناسب نموه. وعلى ذلك تبدو هذه المستعمرات المرجانية على شكل حواجز مرجانية حديةFringing Reefs (شكل ١٨٦).

ب - المرحلة الثانية: وتتعرض الجزر البركاية خلالها لعمليات الهبوط التدريجى بينما ترتفع الحواجز المرجانية الحدية إلى أعلى تبعاً لمدى سرعة حركة هبوط الكتلة البركانية الوسطى. وعلى ذلك تصبح الحواجز المرجانية الحدية على شكل حواجز مرجانية سدودية Barrier Reefs .



شكل (١٨٦) نشأة الجزر المرجانية حسب تفسير شارلس داروين.

جـ - المرحلة الثالثة: تتعرض الجزيرة البركانية خلال هذه المرحلة الأخيرة لعمليات الهبوط التدريجي المستمر إلى أن تتلاشى الجزيرة البركانية تماماً، بينما تنمو فوق أعاليها المستعمرات المرجانية وتتخذ شكل أشرطة قوسية تؤلف كلها مجتمعة حلقة شبه دائرية الشكل وتحصر بينها بحيرة داخلية ضحلة، وتنفصل الأشرطة القوسية فيما بينها بواسطة فتحات بحرية ضحلة ضيقة. (شكل ١٥٠جـ).

وكان من أظهر انصار رأى داروين، العالم الجيومورفولجى وليم موريس دافيز W. M Davis [1] الذى عمل على تدعيم هذه النظريات بالدراسات العلمية التجريبية. وقد أكدت نتائج الدراسات الاقيانوغرافية الحديثة تعرض أواسط بعض الجزر البركانية المرجانية لعمليات الهبوط التدريجي. فقد تبين من أعمال الحفر الجيولوجي بجزيرة بيكينى Bikini المرجانية على وجود صخور جيرية ومختلط بها بعض حفريات الزمن الثالث عند عمق ٢٥٦٦ قدم من سطح البحر. واستنتج الباحث «لاد» H S. Ladd فى عام ١٩٤٨ أن الصخور البركانية القاعدية التى ترتكز عليها جزيرة بيكينى تتمثل على عمق ٨٠٠٠ قدم. وعلى ذلك إذا كانت الكائنات

المرجانية قد نمت بسرعة لكى تكوّن مثل هذا السمك الكبير فيمكن أن نستنتج فى الوقت نفسه كذلك أن هذا الجزء من المحيط قد تعرض لعمليات الهبوط التدريجى [1].

أما سيرجون مورى Sir J. Murray فقد اعتقد أن المستعمرات المرجانية تنمو من أسفل إلى أعلى خاصة فى الفتحات البحرية الضحلة، والتى تمثل بدورها بيئة صالحة لنمو العائلات المرجانية . وقد أوضح كذلك أن المرجان يزداد نموه فى المراكز الوسطى من مناطق تجمعه، أما عند أطراف المستعمرات المرجانية فيتعرض حيوان المرجان للهلاك تبعاً لقلة الغذاء، وعلى ذلك يتعرض هيكل المرجان لعمليات الإذابة المستمرة. ووفقاً لهذا التفسير اعتقد « مورى » أن نشأة البحيرة الداخلية الضحلة ترجع إلى أثر عمليات ذوبان المرجان وتجمع المفتتات المرجانية بها. ولايحتاج تفسير نشأتها إلى حدوث عمليات هبوط قاع البحر أو ارتفاعه. بينما ارتفعت أشرطة الجزر المرجانية القوسية تبعاً لزيادة نمو المرجان فى هذه الأجزاء . وكان من أنصار هذا الرأى الملاح البيولوجى المشهور الكسندر اجازيز Alexander Agassiz

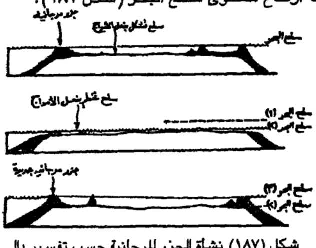
إلا أن الباحث فوجهان T. W. Vaughn أكد بعد دراسته لتجمعات المرجان الميت فى منطقة ساحل فلوريدا Florida Keys ، بأن عمليات إرساب الجيرLime deposition† أكبر بكثير من عملية ذوبانه، ويعزى ذلك إلى النسبة الضئيلة جداً من ثانى أكسيد الكربون بالمياه. واعتقد فوجهان أن عملية ذوبان الحجر الجيرى المرجانى بمياه البحر دون وجود نسبة كبيرة من ثانى أكسيد الكربون يعد أمراً غريباً من الناحية العلمية.

وفى عام ١٩١٠ رجح الباحث الأمريكى «دالى» R. A. Dally نظرية أخرى تفسر نشأة الجزر المرجانية الحلقية، ثم أكد آراؤه من جديد فى كتابه عن « أرضية المحيطات» فى عام ١٩٤١. فقد لاحظ « دالى» أن معظم المستنقعات البحرية التى تنحصر بين الجزر المرجانية الحلقية ذات أعماق متشابهة تقريباً حيث يتراوح أعماقها من ١٥٠ إلى ٢٥٠ قدم. كما أن بعض

(1) Davis W.M "The coral reef problem" , Amer, Geol. Soe, Spec. publ No. 9.,(1928).

القمم الجبلية العالية، لبعض الجزر البركانية (مثل جزيرة هاواى) تعرضت للتعرية الجليدية البلايوستوسينية. وعلى ذلك اعتقد دالى أن المياه التى تحيط بالجزر خلال عصر البلايوستوسين كانت أعلى برودة وأقل ملوحة (تبعاً لانصهار الجليد وتراكمه فوق أعالى بعض الجزر) عن المياه الحالية، وهى خصائص من الصعب أن تنمو فيها أى مستعمرات مرجانية. وإذا كان هذا الرأى صحيحاً، فإن المستعمرات المرجانية حول جزر هاواى وغيرها من الجزر لابد وأن تكون قد نشأت بعد عصر البلايوستوسين وعند بداية العصر الحديث.

وعندما حسب دالى حجم الكتل الجليدية التى تجمعت فى البحار والمحيطات خلال عصر البلايوستوسين تبين له أن هذا الجليد قد أدى إلى انخفاض منسوب سطح البحر بنحو ٣٠٠ قدماً عما هو عليه اليوم . ومعنى ذلك أن المستعمرات المرجانية التى بدأ تجمعها بعد نهاية عصر البلايوستوسين قد تكونت فى مياه يكثر بها نسبة الصلصال تبعاً لتلاطم الأمواج فى الرواسب الحديثة التجمع، كما أنها لم ترتفع عن سطح البحر إلا بنحو بضعة أقدام ، وعندما أخذ مستوى سطح البحر فى الارتفاع التدريجى تمكنت بعض المستعمرات المرجانية من المقاومة فى سبيل البقاء وذلك بتكاثرها السريع وبناء مستعمرات مرجانية كثيفة ، وترتفع إلى إلى أعلى مع حركة ارتفاع مستوى سطح البحر (شكل ١٨٧).



شكل (١٨٧) نشأة الجزر المرجانية حسب تفسير دالى.

وحسب رأى دالى تعتبر المستنقعات البحرية التى تقع بين أشرطة الجزر المرجانية، أحواضاً أخذت تتجمع فيها الرواسب والمفتتات الصخرية والعضوية التى أرسبتها الأمواج. ويتناسب أعماق هذه المستنقعات تناسباً طردياً مع مساحتها ومدى اتساعها . فكلما زادت مساحتها يزداد عمقها والعكس صحيح . غير أن هناك بعض النقاط التى لم تستطع نظرية دالى تفسيرها وتتلخص فيما يلى:

أ ـ أثبتت عمليات الحفر Boring فى الصخور خاصة فى جزر فونافوتى Funafuti وبيكينى Bikini أن هناك تكوينات من الصخور الجيرية المرجانية تقع على أعماق ٣٠٠٠ قدم وترجع نشأتها إلى الزمن الثالث.

ب ـ أكدت الأبحاث الاقيانوغرافية حدوث حركات الهبوط فى أواسط بعض مجموعات الجزر البركانية.

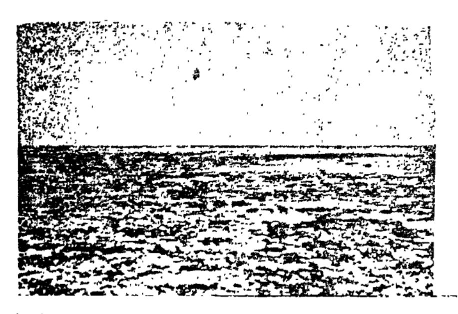
جـ ـ لا ترجع كل المستعمرات المرجانيةالمحيطية بالجزر إلى العصر الحديث فقط.

د . لم تفسر آراء دالى كيفية تكوين المستعمرات المرجانية فوق قمم الجزر البركانية العالية.

أما فيما يتعلق بالحواجز المرجانية فهذه تنتشر فى بعض المسطحات المائية المدارية خاصة بالمحيطين الهادى والهندى. أما فى المحيط الأطلسى فتظهر الحواجز المرجانية حول بعض جزر الهند الغربية وبجوار أجزاء من الساحل الشمالى الشرقى للبرازيل. ومن الحواجز المرجانية التى تخرج نسبياً عن نطاق المياه المدارية، حواجز برميودا ، التى نشأت بمساعدة مياه تيار الخليج الدافئ

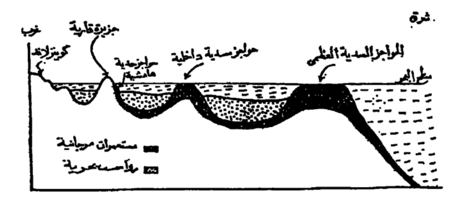
وأظهر هذه الحواجز جميعاً هو الحاجز المرجانى الكبير الذى يقع شمال شرق استراليا، ويبدأ من أقصى شمال ساحل كوينزلاند وتنتشر أطرافه الشمالية فى مياه مضيق تورس Torres ، ثم يسير جنوباً بمحازاة

ساحل كوينزلاند لأكثر من ١٠٠ ميل ويبلغ أقصى إتساع الحاجز أمام بلدة ماكاى Mc. kay حيث يبلغ عرض الحاجز بالقرب من خط الساحل إلى نهايته فى البحر مسافة طولها نحو ١٥٠ ميلاً. ويتألف هذا الحاجز الكبير من حواجز ثانوية مختلفة الأشكال والحجم وتشغل معظم الرفرف القارى لساحل كوينزلاند. وتبتعد الحواجز الحديثة فى شمال الحاجز عن ساحل كوينزلاند بنحو ٣٠ ميلاً ، إلا أن الحاجز يقترب من الساحل كلما اتجهنا صوب الجنوب حيث يبتعد الحاجز الحدى عن خط الساحل أمام رأس ميلفيل Melville بنحو ٧ أميال فقط، وتتلاشى أطراف الحاجز جنوباً عن دائرة عرض ٢٥° جنوباً إلى الشمال مباشرة من مارى برا Maryborough ولا يتألف الحاجز المرجانى الاسترالى الكبير من حيوانات المرجان الحفرية القديمة، بل تنتشر فوقه كذلك حواجز تتألف تماماً من الشعب المرجانية الحية، ومن أشهر هذه الحواجز تلك المعروفة باسم حاجز ارلينجتون Aringlon أمام ساحل كوينزلاند (شكل ١٨٨).



شكل (١٨٨) مورفولوجية حاجز ارلينجتون - حاجز استراليا الكبير (لاحظ الكائنات المرجانية الحية فوق سطح الماء).

وقد رسم الباحثون لهذا الحاجز المرجانى الكبير قطاعات عرضية تفصيلية توضح شكله العام والصخور التى يرتكز عليها، وتبين أن الحاجز يتألف من حواجز سدية تشغل مقدمات الرفرف القارى وتمثل فى نفس الوقت الأطراف الحدية للحاجز صوب البحر [1]، وكذلك مجموعات أخرى من الحواجز السدية فى الشرق من ناحية وخط ساحل كوينزلاند فى الغرب من ناحية أخرى (شكل ١٨٩).



شكل (١٨٩) قطاع تخطيطى للحاجز المرجانى الكبير بشمال شرق استراليا

الفصل الرابع عشر
البحيرات

التعريف العلمى للبحيرات يدل علي المسطحات المائية التى تحيط بها الأرض أو اليابس من جميع الجهات وتقع فوق أسطح القارات وفوق الجزر . ودراسة نشأة البحيرات وخصائص مياهها الطبيعية والكيميائية ،وتحديد مجموعات الكائنات الحية التى تعيش فيها هى موضوع علم جديد يعرف باسم « علم البحيرات» Lymnology (مشتق من اللغة اليونانية Limne ومعناها بحيرة) وهذا العلم هو أحد أفرع علوم الهيدرولوجيا.

وقد رجح الأستاذ فيليب ليك P. Lake بأن المقعرات الصغيرة الحجم التى تتمثل فوق أجزاء سطح الأرض تعد بداية تكوين البحيرات إذا ما تجمعت فيها المياه السطحية. وبقاء البحيرة أو عدمه يحدده العلاقة بين كمية المياه المكتسبة عن طريق التساقط ومياه الأمطار وانصهار الثلج وتجمعها فى المقعرات السطحية وكمية المياه التى تفقدها هذه المقعرات المائية عن طريق التبخر والتسرب داخل الصخور.

وإذا كانت المقعرات السطحية صغيرة الحجم فتتكون البرك الصغيرة Pools أما إذا غطت المياه المتجمعة فى المنخفضات مسطحات واسعة تتكون بحيرات كبيرة الحجم Lakes وقد يطلق عليها أحياناً تعبير « بحار Seas » وتتميز سواحل البحيرات وأبعادها بتغيرها من فصل إلى آخر ومن عام إلى آخرتبعاً لظروف المناخ السائد فى منطقة البحيرة وتنوع مصادر مياه البحيرة ومقدار فقدان البحيرة لبعض مياهها . ومعظم بحيرات العالم تتغير سواحلها من فصل إلى آخر تبعاً لتعرضها لفعل التبخر، حيث تزداد مساحتها إبان فصل التساقط أو انصهار مياه الثلج المتجمعة فيها، وتنكمش أبعادها خلال فصل الجفاف. وزيادة مساحة البحيرة أو انكماشها وتنوع الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياهها إن دل على شئ فإنما يدل على مدى تغير الظروف المناخية للإقليم الذى تقع فيه البحيرة. وعلى ذلك فإن دراسة الرواسب البحيرية Lacustrine deposits التى قد تتبقى فوق

المدرجات البحيرية والشواطئ البحيرية القديمة تعد من الدراسات الهامة فى علم الجيومورفولجيا حيث إنها الأدلة المباشرة لمعرفة التغيرات المناخية القديمة فى المنطقة وأسباب تذبذب مستوى سطح البحيرة ومراحل هذا التذبذب خلال العصور الجيولجية المختلفة.

وقد تساهم المياه الجوفية فى تكوين بعض البحيرات وذلك عندما تنبثق تلك المياه من الطبقات الحاملة لها وتجد طريقها نحو المنخفضات البحيرية، كما قد تتجمع مياه بعض الينابيع،والنافورات الحارة فى برك وبحيرات على سطح الأرض. وعلى ذلك نلاحظ انتشار بعض البحيرات الدائمة فى المناطق المدارية الحارة الجافة (حيث إن المياه المكتسبة من التساقط والأنهار أقل بكثير من تلك المفقودة عن طريق التبخر والتسرب) لأنها تستمد مياهها من طبقات حاوية للمياه الجوفية وإن مصادر مياه الأخيرة Catchment areas تقع خارج النطاق الصحراوى ولا ترتبط بالظروف المناخية المحلية لإقليم البحيرة نفسه.

وقد ينجم عن انغمار البحر للأراضى المجاورة له تكوين بعض البحيرات الشاطئية التى تنفصل تماماً عن البحر المجاور عن طريق الحواجز والألسنة الإرسابية. وعند بداية تكوين هذه المجموعة من البحيرات تكون جميعها ذات مياه ملحية، ولكن تتغير الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه بعض هذه البحيرات بعد ذلك، تبعاً للظروف المناخية والمورفولوجية العامة للإقليم الذى تقع فيه البحيرات الساحلية [١].

وتغطى المسطحات البحيرية مساحة تقدر بنحو ١,٨٪ من جملة مساحة سطح الأرض، ويلاحظ بأن البحيرات تختلف فيما بينها من حيث الشكل والمساحة. فبينما لا يزيد مساحة بعض كل منها عن ١كم٢ فإن بعضها الآخر قد تزيد مساحة كل منها عدة آلاف من الكيلو مترات المربعة. كما تختلف البحيرات فيما بينها كذلك من حيث أعماقها، وعلى سبيل المثال نلاحظ متوسط عمق بحيرة التون Elton نحو ٠,٨ متر بينما متوسط عمق بحيرة بيكال نحو ١٧٤٢ متر. ومن ثم يطلق العامة على

البحيرات الواسعة المساحة والكبيرة العمق اسم « بحار» مثل بحر قزوين، وبحر آرال، والبحر الميت . ويوضح الجدول الآتى بيان ببعض البحيرات ومساحة كل منها ومنسوبها بالنسبة لمستوى سطح البحر وأعماقها (٢)

البحيرات	مساحته(١٠٠٠ كم٢ كم٢)	منسوبها لمستوى سطح البحر)	اكبر عمق لها (م)
فى الاتحاد السوفيتى:			
قزوين	٣٩٥,٠	٢٨-	٩٨٠
آرال	٦٥,٠	٥٣	٦٨
بيكال	٣٠ ٥	٤٥٥	١٧٤١
لادوجا	٢٧,٧	٤	٢٢٥
بلكاش	١٧,٤	٣٣٩	٢٦
اونيجا	٩,٦	٣٣	١١
ايسى ـ كول	٦,١	١٦٠٩	٧٠٢
سيفان	١,٤	١٩١٤	٩٩
المين	٢,٢		٩
تلتسكويا	٢		٣٢٥
التون	١		٨
فى مناطق أخرى:			
جنيف ـ أوربا	١,٦	٣٧٦	٣٠٩
كوكونور ـ آسيا	٤,٢	٣٢٠٥	٣٨
فيكتوريا ـ أفريقيا	٦٩,٤	١١٣٤	٨٠
تانجانيقا ـ أفريقيا	٣٢,٩	٧٧٣	١٤٣٥
سوبيريور ـ أمريكا الشمالية	٨٢,٤	١٨٣	٣٩٣
ميتشجان ـ أمريكا الشمالية	٥٨,٠	١٧٧	٢٨١
أيرى ـ أمريكا الشمالية	٢٥,٧١	١٧٤	٦٤
أونتاريو ـ أمريكا الشمالية	١٩,٥	٧٥	٢٣٧

وتعد دراسة البحيرات ذات أهمية كبيرة فى الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة ، فدراسة المدرجات البحيرية ومعرفة مجموعة بقايا الكائنات العضوية فوقها تدل على مراحل تغير أبعاد المسطحات البحيرية خلال العصور الجيولوجية المختلفة، ويمكن للباحث أن يدرك أسباب تغير مستوى سطح البحيرة والتغيرات المناخية التى طرأت على المنطقة خلال المراحل الزمنية المتعاقبة.

ومن بين الدراسات فى هذا الموضوع الأبحاث تلك التى أجريت على بحيرة قارون بمنخفض الفيوم بجمهورية مصر العربية. والدراسات الجيومورفولوجية للبحيرات ومعرفة الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياهها تساعد على استغلالها اقتصادياً من حيث عمليات صيد الأسماك وتحديد أنسب مواسم الصيد فى كل من البحيرات المختلفة، هذا إلى جانب استغلال الأملاح والرواسب المعدنية المتجمعة فوق أرضية بعض البحيرات واستغلال الكبير الحجم منها فى عمليات النقل البحيرى وإقامة الثغوروالموانى البحيرية كما هو الحال بالنسبة للبحيرات الأمريكية العظمى (ايرى و اونتاريو و هورن ومتشجان و سوبيريور).

وقد اختلفت الآراء فيما يتعلق بتقسيم البحيرات إلى مجموعات مختلفة، ذلك لأن البحيرة تتشكل بعدة عوامل متداخلة ولا تعزى نشأتها إلى عامل واحد فقط هذا إلى جانب تغير الخصائص المورفولوجية والطبيعية والكيميائية للبحيرة من فترة إلى أخرى تبعاً للظروف المناخية للمنطقة التى تقع فيها البحيرة. ومن بين أظهر التقاسيم لمجموعات البحيرات تلك التى رجحها كل من كوليه (١) Collett فى عام ١٩٢٥، وفيليب ليك(٢) P. Lake فى عام ١٩٥٨ وبروفكين وبوجوسلوفيسكى (٣) Bogoslovsky, B Pervukhin, M, and ويمكن أن نلخص هذه التقاسيم فيما يلى:

---

1) Callet, L W " Les Les Lacs, " Paris1925.

2) Lake P. " Physical geography " Cambridge, (1958), 376-384

3) Pervukhin and Bogoslovsky in Physical Geology by G. Gorskhov, Moscow (1987), 317-335.

أولاً: اعتمد كوليه عند تقسيمه البحيرات إلى مجموعات مختلفة على أساس اختلاف نشأة البحيرات وميز المجموعات الآتية:

١- بحيرات تكونت بفعل التعرية.

٢- بحيرات تكونت فوق الرواسب الجليدية.

٣- بحيرات تكونت بالرواسب السدودية أو الحاجزية.

٤ - بحيرات الفوهات البركانية.

٥ - بحيرات صدعية وتكتونية النشأة.

٦- بحيرات الكارست الجيرية.

٧- بحيرات تتكون من مصادر المياه الجوفية.

ويشبه هذا التقسيم السابق مع تقسيم بروفكين وبوجوسلوفيسكى للبحيرات حيث صنف هذان الباحثان البحيرات إلى مجموعات مختلفة تبعاً لاختلاف ظروف تكوينها ونشأتها . وقد ميزا عشر مجموعات من البحيرات تتلخص فيما يلى:

١- بحيرات تكتونية النشأة:

ويقصد بها البحيرات الصدعية وتلك التى تتكون فى الثنيات المقعرة وتنتمي بحيرات بيكال ، وتلتسكوى، وجنيف وسيفان إلى هذه المجموعة.

٢- بحيرات الثورانات البركانية: وتنقسم إلى:

أ- بحيرات الفوهات البركانية.

ب - بحيرات تتكون داخل المقعرات اللافية بعد برودتها وامتلائها بالمياه السطحية.

جـ - بحيرات تتكون عند انحباس مياه الأنهار واحتجازها خلف الحواجز والمصهورات اللافية.

٣- بحيرات جليدية:

وتضم البحيرات التى تتكون بفعل الجليد كعامل نحت وكعامل إرساب.

٤- بحيرات نهرية:

وتشمل البحيرات التى تتكون بفعل الحواجز والسدود الفيضية لبعض المجارى النهرية، والبحيرات المتقطعة من مجارى الأنهار.

٥ - بحيرات الدلتاوات:

ويقصد بها البحيرات النهرية التى تتكون فى بعض أفرع الدلتاوات إذا ما تعرضت فتحاتها للانسداد بفعل الرواسب.

٦- بحيرات ساحلية:

ويقصد بها مجموعة البحيرات والمستنقعات السبخية البحيرية التى تتكون نتيجة لانغمارالبحر الأراضى المجاورة له ، مثل بعض بحيرات الساحل الجنوبى لبحرالبلطيق، والبحيرات المصرية الواقعة بجوار الساحل الشمالى لمصر.

٧- بحيرات انخفاضية:

ويقصد بها مجموعات البحيرات التى تتكون بفعل عمليات هبوط الأرض أو انهيار أسقف الدولينات ومقعرات الحفر الغائرة فى مناطق الكارست الجيرية.

٨- بحيرات انخفاضية فى مناطق الاستبس:

وقد ميز بروفيكين وبوجوسكونيسكى هذه المجموعة من البحيرات عن المجموعة السابقة، حيث أن ظروف تكويناتها لا تتأثر بعمليات الذوبان الجيرى.

٩- بحيرات تكونت بفعل رواسب الانهيارات :

ويقصد بها مجموعات البحيرات التى تتكون تبعاً لانسداد بعض المجارى بالرواسب وتجمعها على شكل سدوداً أو حواجز فى مجارى

الأنهار، ومن ثم تتجمع خلفها المياه النهرية على شكل بحيرات دائمة أو مؤقتة.

١٠- بحيرات تكونت بفعل الرياح كعامل تعرية:

حيث أوضح هذان الباحثان بأن الرياح المحملة بالرمال والتى يشتد تأثيرها فى المناطق الحارة الجافة، لها القدرة على حفر وتعميق المنخفضات فى سطح الأرض وخاصة فى المناطق الضعيفة جيولوجياً، وإذا ما توفرت مصادر المياه سواء أكانت السطحية أو الجوفية قد تتكون البحيرات.

أما الأستاذ فيليب ليك P Lake فلقد قسم البحيرات إلى مجموعات مختلفة بحسب اختلاف العوامل الخارجية والقوى الداخلية الكبرى التى شكلتها وأدت إلى تكوينها . ويتلخص تقسيمه فيما يلى

أولاً - بحيرات تتكون بفعل الإرساب: Lakes due to deposition

١- بفعل الرواسب البحرية.

٢- بفعل الرواسب الفيضية.

٣- بفعل مفتتات المخروطات الإرسابية.

٤- بفعل رواسب الأراضى المنزلقة.

٥- بفعل الرواسب الجليدية.

٦- بفعل رواسب المصهورات البركانية.

٧- بفعل الرواسب العضوية.

ثانياً - بحيرات تتكون بفعل التعرية والتجوية الكيميائية:

Lakes due to erosion and chemical weathering

وتشمل بحيرات :

١ - بفعل الرياح كعامل نحت .

٢- بفعل الجليد كعامل نحت .

٣- بفعل الثورانات البركانية.

٤- بفعل الإذابة فى الصخور الجيرية.

ثالثاً - بحيرات تتكون بفعل الحركات التكتونية:

Lakes due to tectonic earth movements.

ويعد هذا التقسيم الأخير أكثر التقاسيم شيوعاً فى الوقت الحاضر كما أنه يعد جامعاً شاملاً لمختلف المجموعات المتعددة من البحيرات ومن ثم سندرس الخصائص المورفولوجية العامة للبحيرات، وفقاً لتقسيم الأستاذ فيليب ليك P. Lake

أولا: بحيرات تتكون بفعل الإرساب

تنتشر الغطاءات الإرسابية المختلفة فوق سطح الأرض على شكل غطاءات مموجة الشكل تنتشر فيها المحدبات والمقعرات السطحيةوعند سقوط الأمطار تتجمع المياه الجارية داخل هذه المقعرات أو التجويفات الإرسابية وتتكون البرك Pool والبحيرات Lakes . وفى بعض الأحيان الأخرى قد تتجمع الإرسابات على شكل سدود أو حواجز طبيعة تعترض المجارى النهرية الصغيرة الحجم وتتجمع خلفها مياه الأنهار على شكل بحيرات دائمة أو مؤقتة، ومن ثم تشبه الرواسب الحاجزية فى هذه الحالة بحوائط السدود والخزانات الاصطناعية، مثل بحيرة ناصر خلف السد العالى جنوب أسوان. وتختلف حجم وأبعاد البحيرات التى تتكون خلف الحواجز الإرسابية تبعاً لحجم المياه المتجمعة وإرتفاع الحواجز الإرسابية والمظهر التضاريسى المحلى لمنطقة البحيرة. ويجب الا ننسى كذلك بأن خصائص النسيج الصخرى للحواجز الإرسابية يؤثر فى حجم وشكل البحيرات التى قد تقع خلفه. فإذا كانت التكوينات الإرسابية الحاجزية أو الاعتراضية تتألف أساساً من مفتتات بها كثير من المسام ويفصل بينها الكثير من الشقوق والفتحات والفراغات الصخرية، فإن كل ذلك يساعد على تسرب كميات كبيرة من مياه البحيرة التى تقع خلفها. أما الحواجز

الإرسابية ذات المواد غير المتماسكة غير المسامية فإنها تقلل من عملية تسرب مياه البحيرة وتدني كمية المياه المفقودة التي تقتصر في هذه الحالة على تلك المفقودة طريق التبخر ونسبة محدودة منها عن طريق التسرب داخل تكوينات الصخور السفلية التى تمثل قاعدة أو قاع البحيرة. وتتلخص مجموعات البحيرات التى تتكون عن طريق فعل الإرساب فيما يلى:

١- بحيرات تتكون بفعل الرواسب البحرية:

أكدت الدراسات الجيولوجية أن البحر تعرض وبوجه خاص خلال عصر البلايوستوسين إلى تغير فى منسوب سطح مياهه أدى إلى ارتفاعه تارة و انخفاضه تارة أخري عن مستواه الحالى، ونتج عن ذلك تقدم البحر أو تراجعه عن الأرض المجاورة . وعند انغمار البحر للأرض المجاورة له تبعاً لارتفاع منسوبه ثم عند تراجعه مرة ثانية يترك السنة من الرواسب على شكل تلال إرسابية كثيراً ما تكون موازية لخط الساحل وعندما تحجز التلال الإرسابية مسطحات مائية من البحر القديم خلفها تتكون مايعرف بالبحيرات الساحلية. وقد يتكون بجوار ساحل البحر عدة مجموعات من البحيرات تمثل بدورها مراحل تقدم البحر عن الأرض المجاورة تبعاً لتغير منسوبه ويفصل بين كل مجموعة منها تلال عرضية موازية لخط الساحل. وعلى ذلك تتميز المنطقة الشاطئية في هذه الحالة بتكوين مجموعات متجاورة ومتوازية من التلال العرضية والأحواض الموازية لها والتى تتمثل فيها بعض البحيرات المتخلفة عن تراجع البحر القديم . وقد تتصل هذه البحيرات بالبحر عن طريق فتحات صغيرة تشق طبيعياً فى مناطق الضعف الجيولوجي في رواسب التلال والكثبان الساحلية وقد يكون بعضها الآخر منفصلاً تماماً عن البحر، وهذه الأخيرة إذا لم تكتسب مياه جديدة بفعل التساقط أو الأنهار قد تنكمش مساحتها وقد تتعرض للزوال نهائياً. وعند بداية تكوين هذه البحيرات الساحلية تتميز مياهها بملوحتها ،ولكن إذا تكونت البحيرات فى منطقة ذات أمطار غزيرة وأن المياه التى تكتسبها البحيرات عن طريق التساقط أو الأنهار التى تصب فيها

اكبر حجماً من المياه المفقودة عن طريق التبخر والتسرب ، فإن نسبة ملوحة مياهها تنخفض وقد تتحول فى النهاية إلى بحيرات عذبة. ويلاحظ أن نسبة المياه المتسربة داخل هذه الصخور من مثل هذه البحيرات تعد قليلة جداً حيث تساعد المواد الجيرية والسيلية وبعض الأعشاب البحيرية على تماسك رواسب قاع البحيرة وتكون فيها أرضية غير مسامية تحد من عملية تسرب المياه .

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات الساحلية تلك التى تتمثل على طول الساحل الهولندى فى منطقة أرض جاسكونىLands of Gascony والبحيرات الساحلية الواقعة خلف سلاسل الكثبان الساحلية على طول ساحل نورفلك فى انجلترا، وبعض البحيرات الساحلية للساحل الجنوبى لبحر البلطيق فى المانيا وتتميز مياه بعض البحيرات الساحلية هنا بأنها عذبة وتعرف باسم Haffes وبعضها الآخر من مياه ملحة وتعرف باسم Arcachon .

وتنتمى بحيرة إدكو وبحيرة مريوط بساحل مصر الشمالى لهذه المجموعة من البحيرات حيث تنفصل عن البحر المجاور عن طريق سلاسل عرضية من الكثبان الساحلية وتقع البحيرتان فى منخفضات عرضية تمتد كلها موازية لخط الساحل الحالى وإن دلت رواسب الكثبان الساحلية، والبحيرات الساحلية المختلفة على شئ فإنما تدل على التغيرات التى طرأت على مستوى سطح البحر خلال النصف الأخير من عصر البلايوستوسين.

٢- بحيرات تتكون بفعل الرواسب الفيضية :

تتنوع البحيرات التى تتكون فى الأحواض النهرية وفى منطقة الرواسب الفيضية للنهر من حيث النشأة. ومن أكثر هذه البحيرات النهرية شيوعاً تلك المعروفة بالبحيرات المقتطعة Ox bow lakesوالبحيرات الطبقية الشكلSoucer lakes وبحيرة الدالات Delta lakes وبحيرات السيول على جانبى النهر الرئيسى.

وقد سبقت الإشارة من قبل الحديث عن نشأة البحيرات المقتطعة في القسم الأدنى من حوض النهر حيث ينحت النهر فى الجوانب المقعرة من منعطفاته ومنحنياته بينما يرسب فى الجوانب المحدبة، ومن ثم يشيع تكوين الحلقات النهرية وتقترب أجزاء العنق النهرى ، وبتوالى عمليات النحت والإرساب تنفصل الانحناءات أو المنعطفات النهرية وتظهر شكل بحيرة هلالية الشكل مقتطعة من النهر، بينما يتميز الأخير باستقامة مجراه من جديد. وتختلف البحيرات المقتطعة فيما بينها من حيث الحجم والأبعاد ، وتتميز جميعها بضحولتها، وأنها معرضة للزوال بعد مدة محدودة من الزمن . ويعد النسيج الصخرى للرواسب الفيضية ومدى مساميتها، والمناخ المحلى لمنطقة البحيرات المقتطعة من بين أهم العوامل التى تؤثر فى فترة بقاء أو عدم بقاء البحيرات المقتطعة فى السهل الفيضى للنهر. ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتكون فى الأجزاء الدنيا من أنهار أيروادى وسالوين وميكنج ويانجتسى وسكيانج والأمزون ، والمسيسبى ونهرالنيل.

وعند حدوث الفيضانات النهرية وانتشار الرواسب الطينية وتكوين الجسور الطبقية وخاصة فى الأجزاء الدنيا من الوادى النهرى يتغطى سطح الأرض بفرشة هائلة من الرواسب الطينية وتتميز الأخيرة هى الأخرى بكونها مموجة السطح. وعلى ذلك قد تتجمع بعض مياه النهر فى الأجزاء المقعرة الواقعة فيما بين الجسور الطبيعية الحالية وتظهر شكل برك وبحيرات صغيرة الحجم عذبة المياه ، وتتخذ معظمها شكل الأطباق Saucer-like from

وعند أقدام الدلتاوات النهرية الكبيرة الحجم قد تتكون مجموعة ثالثة من البحيرات . وهذه الأخيرة تعزى نشأتها إلى كثرة تفرع النهر عند دلتاه وذلك عندما لا يتمكن المجرى النهرى من أن يحمل كل رواسبه ليقذفها فى البحر الذى يصب فيه. ويتفرع النهر إلى فروع branches تساعد على عمليات التصريف النهرى لرواسب ومياه النهر وتتجمع الرواسب الفيضية في المصب الضحل وتتكون الرواسب الأمامية للدلتا وتتراكم فوق أرضية

البحر الذى يصب فيه النهر، وبمرور الوقت يزداد تراكم هذه الرواسب، وتتعاقب فرشات بعضها فوق البعض الآخر، ثم تظهر على سطح الأرض على شكل جسور إرسابية تقع فيما بين مخارج الفروع النهرية. وعند حدوث الفيضان النهرى وارتفاع منسوب مياه نهر تحجز بعض مياه النهر وراء هذه الجسور الإرسابية وتنفصل عن كل من النهر والبحر المجاور له . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تشاهد عند الأطراف الأمامية لدلتا نهر الميسسبى ودلتا نهر ميكونج.

وقد تتكون بعض البحيرات النهرية على جانبى مجرى النهر الرئيسى إذا ما كان يصب فى هذا النهر أودية نهرية جبلية معلقة أو سيول جارفة تحمل معها كميات كبيرة من المفتتات الإرسابية إبان مواسم فيضاناتها . وعندما يقترب السيل أو النهرى الجبلى من منطقة إلتقائه بالنهر الرئيسى قد يفقد سرعته ، ويضعف تياره تبعاً لقلة الانحدار وبعده عن منطقة منابعه، ومن ثم يلقى النهر بما يحمله من رواسب بصورة فجائية على شكل تراكمات من المفتتات الإرسابية وقد تتخذ أحياناً صورة الدالات الصغيرة الحجم والدالات المزدوجة. وقد تعمل بعض هذه الدالات الاعتراضية الجانبية الجديدة على حجز بعض مياه النهر الرئيسى خلفها على شكل بحيرات. وتعد بحيرة ستاى هيدتارن Sty Heed Tarn فى منطقة يارموث وبعض البحيرات الصغيرة فى حوضى نهر أنت Ant ونهر بور Bure فى منطقة نورفلك بانجلترا من بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات.

٣- بحيرات تتكون بفعل مفتتات المخروطات الإرسابية : Screes

عندما تتعرض أعالى الحافات الصخرية التى تشرف على مجارى أنهار ما لفعل عوامل التجوية الطبيعية والتعرية ، تتفتت الصخور، ثم تنقل من مواضعها بأعالى الحافات إلى ما تحت أقدامها بفعل عمليات الزحف أو التساقط أو الإنسياب، وتتراكم على شكل أهرامات أو مخروطات من المفتتات الإرسابية . ويزداد حجم هذه المخروطات الإرسابية الأخيرة بزيادة

المواد الإرسابية المنقولة من أعالى الحافات الصخرية . وإذا تصادف تكوين مثل هذه المخروطات الإرسابية فى طريق مجرى نهرى ما واعترضت اتجاه هذا النهر، فإنها تقوم بعمل ما تقوم به السدود الاصطناعية، ويضطر النهر فى هذه الحالة إلى تغير مجراه بينما تنحبس أو تحجز بعض مياهه خلف رواسب المخروطات الإرسابية على شكل بحيرات قد تكون دائمة أو مؤقتة. ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات ، هارد تارن Hard Tarn علي نهر هيلفين Helvilyn ، وبحيرة إيفانون فرش Efynnon Frech فى منطقة جبل سنودن بويلز بالمملكة المتحدة.

٤ ـ بحيرات تتكون بفعل رواسب الأراضى المنزلقة:

Lakes Within the landslip deposits

تحدث عمليات الإنزلاق الأرضى فى مناطق الصخور غير المتجانسة وخاصة بالمناطق الرطبة وعندما تتعاقب صخور صلبة عالية المسامية، كثيرة الشقوق، فوق صخور طينية غير مسامية. وتساعد الشقوق والمياه الجوفية التى تتجمع فوق الطبقة الطينية غير المسامية على تكوين مناطق ضعف جيولوجى فى التكوينات الصخرية. وقد تنزلق أجزاء من الحافات الصخرية من أعلى إلى أسفل وتظهر تحت أقدام الحافات الصخرية على شكل تلال وحواجز إرسابية منزلقة. وإذا تصادف حدوث هذه الانزلاقات الأرضية فى مناطق غزيرة الأمطار والتساقط، فقد تتجمع المياه السطحية والثلج فى الأحواض المقعرة التى تقع فيما بين التلال والحواجز الإرسابية المنزلقة على شكل برك ومستنقعات صغيرة الحجم. ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتكون فى الأراضى المنزلقة بحوض نهر الدنDon Basin وبجزيرة وايت فى المملكة المتحدة، وبحيرات دى برنتس Brenets فى حوض نهر دوب Doubs .

وقد تعمل الرواسب المنزلقة فى مناطق الانزلاقات الأرضية على سد بعض أجزاء من المجارى النهرية التى تعترض طريقها، (كما هو الحا ل بالنسبة لمفتتات المخروطات الإرسابية التى تعترض مجرى النهر) ويؤدى ذلك إلى تكوين بحيرات كبيرة الحجم نسبياً . ومن أظهر أمثلة هذه المجموعة الأخيرة من البحيرات تلك التى تتكون فى بعض أجزاء من أعالى الروافد العليا لنهر السند.

٥- بحيرات تتكون بفعل الرواسب الجليدية:

تمثل البحيرات التى تتكون بفعل الرواسب الجليدية اكثر أنواع البحيرات شيوعاً فوق سطح الأرض.وفى بعض الدول مثل فنلنده قد تمثل هده البحيرات اكثر من نصف جملة مساحة البلاد ولا يقتصر تأثير هده المجموعة من البحيرات فى كل من النصف الشمالى من أوربا وبمنطقة البحيرات الأمريكية العظمى فى المظهر المورفولوجي العام لسطح الأرض بل تلعب البحيرات دوراً هاماً فى التطور الاقتصادى وطرق النقل ومواقع المراكز العمرانية فى الأقاليم التى تتمثل فيها وهناك مجموعات مختلفة من البحيرات تنتمى إلى هده المجموعة يمكن أن نلخصها فى الآتى

أ - **بحيرات الركامات الجليدية** حيث أكدت الدراسات الجيولوجية أن النصف الشمالى من أوربا وكذلك النصف الشمالي من قارة أمريكا الشمالية قد غطيا بالركامات والرواسب الجليدية الأخرى وأدى هذا إلى تشكيل سطح الأرض بفرشات واسعة الامتداد كبيرة السمك من هذه الرواسب ويتميز سطحها بتموجه وكثرة المقعرات السطحية الممثلة فيه وحيث تقع اليوم معظم هذه الفرشات الإرسابية الجليدية فى مناطق غزيرة الأمطار وأن المكتسب من المياه السطحية المتجمعة فى المقعرات أكبر من المياه المفقودة بالبخر، فيسود تكوين البرك Pools والبحيرات (شكل ١٩٠) وكثيراً ما تتميز مناطق الكثبان الجليدية drumlin بتكوين مثل هذه البحيرات فى مناطق المقعرات الواقعة بين تلال الرواسب الجليدية . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتمثل فى الأجزاء الجنوبية

من منطقة ليك ديستريكت Lake District فى المملكة المتحدة، وبعض البحيرات فى القسم الشمالى من المانيا الغربية، وبحيرات اتباسكا.



شكل (١٩٠) بحيرات الركامات الجليدية

وجريت بير، وجريت سليف، ووينيبج فى أمريكا الشمالية. وحتى البحيرات الخمس العظمى فى أمريكا الشمالية (أيرى و أونتاريو وهورن و متشيجان وسوبيريور) على الرغم من انها تأثرت ببعض حركات الرفع التكتونية إلا انها تكونت أساساً فى داخل تكوينات رواسب الطفل الجليدى ومفتتات الركامات الجليدية البلايوستوسينية.

ب - بحيرات مقدمات الركامات الجليدية: تتكون هذه المجموعة من البحيرات عند مقدمة الركامات الجليدية ومقدمات الثلاجات Snouts فعندما يتراجع الجليد إلى الوراء خلال الفترات الدفيئة نسبياً يترك أمامه جسوراً وحواجزاً إرسابية ركامية ترتفع فوق منسوب سطح الأرض المجاورة. ومن ثم تتجمع بعض المياه المذابة من الجليد فيما بين الجليد نفسه من جهة والرواسب الجليدية من جهة أخرى على شكل بحيرات هامشية . وتتخذ معظم هذه البحيرات الشكل شبه الدائرى حيث إن أول ما يؤثر في تجمع المياه فى هذه الحالة هو وجود الحفر والمقعرات فى سطح الأرض. وإذا ارتفع منسوب المياه المذابة فى هذه الحفر البحيرية تنساب

المياه منها وتعلو فوق الرواسب الحاجزية ورواسب الركامات الجليدية على شكل مخارج ومصارف نهرية Over flow channel ومثل هذا النوع من البحيرات يكاد يتمثل على طول كل الركامات النهاية فى وسط أوربا وشمالها، وبمنطقة البحيرات الأمريكية العظمى . وتعد بحيرة بليوتر تاون Bleawater tarn فى منطقة « ليك ديستريكت» بالملكة المتحدة من بين هذه المجموعة وكذلك بحيرة مارجلينس Margelness عند الأطراف النهائية لثلاجة التشAltetsh، وبحيرة ماتمارك Mattmark عند الأطراف النهائية لثلاجة الالين Allalin Glacier بمرتفعات الألب

وعند مقدمات الغطاءات الجليدية قد يتجمع الجليد فى مناطق ضعيفة جيولوجياً، وعن طريق نحت الجليد لهذه التكوينات تتعمق الأرض وتتكون بحيرات عميقة نسبياً وكثيراً ما تحاط بصخور عالية أشد صلابة وتظهر هذه البحيرات على شكل نطاق يمتد مع ذلك الحد الهامشى الذى يفصل بين الكتل الأركية القديمة فى أوراسيا وأمريكا الشمالية والتى غطيت بالجليد وبين الأراضى التى تقع إلى الجنوب منها. ويطلق على هذا الحد تعبير « Glint - line»، ومن ثم عرفت مجموعة البحيرات التى تقع فى نطاق هذا الحد باسم بحيرات جلينت Glint lakes . وتعد البحيرات العظمى الأمريكية أمثلة جيدة لهذه المجموعة من البحيرات (شكل ١٩١)، (وشكل ١٩٢).

جـ - وقد تتكون البحيرات الجليدية كذلك عندما تعترض ثلاجة لنهر مائى سطحى، وينجم عن ذلك أن يغير النهر مجراه ويسير موازياً ومجاوراً لأحد جوانب الثلاجة، وعند نقطة انحناء النهر واصطدامه بالثلاجة قد يكون بحيرة عميقة، يطلق عليها اسم البحيرات الجليدية السدية Ice-damed lakes و قد تساعد الظروف المورفولوجية والمناخية على زيادة منسوب مياه البحيرات بالتدريج وهذا يؤدى بدوره إلى انغمار مزيد من جوانب النهر التي تغطى بمياه البحيرة. ولكن عند انصهار الجليد أو الثلاجة الحاجزية، تنصرف مياه البحيرة عن طريق المخارج النهرية الجديدة أو عبر مجرى النهر القديم وتظهر بالتدريج المدرجات



شكل (١٩١) نموذج لبحيرات جلينت فى فنلنده

البحيرية التى تمثل الشواطئ البحيرية التى تكونت خلال مراحل ارتفاع منسوب المياه فى البحيرة خلال المراحل المتعاقبة . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات مارجلين سيMargelen See فى منطقة ثلاجة التش Aletskh بمرتفعات الألب فى وسط أوربا ، وبحيرات شمال شرق جبل بن نفيس فى اسكتلند.



شكل (١٩٢) نموذج للبحيرات فى مناطق الغطاءات الجليدية.

٦- بحيرات فوهات المخروطات البركانية:

بعد انخماد النشاط البركانى يستقر المخروط البركاني مؤقتاً وتتعرض فوهته لفعل عوامل التعرية المختلفة ومن ثم يزداد اتساعها بالتدريج. وإذا ما تعرضت منطقة البركان الخامد للتساقط تتجمع المياه فى فوهة البركان وتتكون بحيرات الفوهات البركانية Crater lakes. وأهم ما يميز هذه البحيرات زيادة تماسك المصهورات اللافية المكونة لجدران حجرات اللافا عند فوهة البركان. وإذا ارتفع منسوب المياه فى بحيرة الفوهة البركانية، تنساب منها المياه عن طريق مخارج إشعاعية تنتشر على جوانب المخروط البركانى ، وقد تنساب المياه المنصهرة من الثلج ومياه الأمطار نحو القسم الأوسط من البحيرة وحول جدرانها على شكل تصريف مائى مركزى Centriptal drainage.

ومن بين أمثلة بحيرات الفوهات البركانية بحيرات بولزانو Bolseno وفيكو Vieo وبرسيانو Bracciano حول منطقة روما ، وبحيرة بافين-Pa vin فى هضبة أوفرنAuvergne، وبحيرتا لاكرسى Laachersee ومارMaare فى هضبة إيفل. وبحيرة ايدا Lace d'Aydat فى منطقة كليرموا- فيرا - Clermont-Ferrandفى فرنسا .

٧- بحيرات تتكون بفعل الرواسب والتكوينات العضوية:

قد تؤدى تجمعات الرواسب النباتية والتكوينات العضوية (نباتية وحيوانية) إلى انسداد المجارى النهرية وتكوين البحيرات النهرية. وقد سبق الحديث عن تكوين بحيرات الجزر الحلقية المرجانية والتى ترجع نشأتها إلى انحصارها بين الحواجز المرجانية المكونة عن تجمع الشعاب المرجانية.

وفى مناطق الغابات الكثيفة والمستنقعات السدودية قد ينسد مجرى النهر بواسطة الأشجار والأعشاب وقطع الأشجار الطافية ويؤدى ذلك إلى تكوين بحيرة غالباً ما تكون مؤقتة . وعندما تزداد سرعة النهر سرعان ما تنجرف الأغصان والأخشاب الطافية ويفتح النهر لنفسه طريقاً جديداً فى داخل التجمعات العضوية وتنصرف بذلك مياه البحيرة المؤقتة. ومن بين أمثلة هذه البحيرات ما يتمثل فى بعض مجارى أنهار شمال غرب كندا ، وفى منطقة السدود الغابية فى حوض بحر الجبل وبحر الغزال بحوض النيل.

ثانياً: بحيرات تتكون بفعل عوامل التعرية وعوامل التجوية الكيميائية

قد تعمل عوامل التعرية المختلفة على حفر وتعميق المنخفضات الصغيرة والكبيرة الحجم فى سطح الأرض والتى قد تمثل بداية تكوين البحيرات .وتتلخص الحالات التى قد تتكون منها البحيرات عن طريق فعل عوامل التعرية حسب دراسات الأستاذ فيليب ليك P.Lake في الآتي:

١- بحيرات تتكون بفعل الرياح كعامل نحت:

من المعروف أن فعل الرياح يشتد فى المناطق الحارة الجافة حيث يندر أن يتغطى سطح الأرض بالغطاءات النباتية. وقد تستطيع الرياح المحملة بالرمال فى مناطق الصخور اللينة والضعيفة جيولوجياً إزالة المفتتات الصخرية عن طريق كشطها لأسطح الأرض Wind Abrasion . وتنقل الرياح المفتتات الإرسابية من مكان إلى آخر وتتكون مقعرات فى المناطق الضعيفة جيولوجياً من سطح الأرض. وتختلف مساحة هذه المقعرات من حفر صغيرة الحجم إلى أحواض واسعة الاتساع والعمق قد تشغل منخفضات صحراوية كبرى مثل منخفضات سيوة والفرافرة والبحرية والداخلة والخارجة فى جمهورية مصر العربية. وعند سقوط أمطار فجائية أو تسرب مياه جوفية وظهورها عند سطح هذه المنخفضات تتكون البحيرات . وعلى الرغم من أن الفاقد من المياه يعد كبيراً إلا أن هذه البحيرات احتفظت بنفسها وإستطاعت البقاء عن طريق المياه المكتسبة من المياه الجوفية.

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتمثل فى منخفض سيوة مثل بحيرات المراقى وخميسة وسيوة والزيتون والمعاصر وتميرة وأغورمى وهن جميعاً يقعن أسفل منسوب سطح البحر الحالى بحوالى ١٥ متراً وتعتمد مصادر مياههن على المياه الجوفية التى تتجمع فى تلك المنخفضات البحيرية. وتبعاً لقلة المياه المكتسبة بالنسبة للمياه المفقودة من البحيرات فى الوقت الحاضر فإن مساحة كل من هذه

البحيرات أخذ فى الانكماش التدريجى. وتشبه هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتمثل فى منخفض وادى النطرون الذى تنتشر فيه بحيرات منها الفاسدة وأم ريشة وروزنيا، وأبو جبارة وحمرا والزجم والبيضا . ويرجع الباحثون أن المياه الجوفية المتسربة من مجرى نهر النيل المجاور لمنخفض وادي النطرون يعد مصدراً رئيسياً لمياه هذه البحيرات . ويلاحظ أنه من النادر تكوين مثل هذه البحيرات فى المناطق المعتدلة الباردة أو المناطق الغزيرة الأمطار في العروض الإستوائية ذلك لأن سطح الأرض فى هذه الحالة مغطى بفرشات كثيفة من الغطاءات النباتية التى تقلل من فعل الرياح كعامل نحت.

٢- بحيرات تتكون بفعل الجليد كعامل نحت :

اكد بعض الكتاب أن فعل الجليد كعامل نحت وأثره فى تكوين مقعرات محفورة فى الأرض يعدعاملاً ضعيفاً. ولكن مع ذلك لاحظ بعض آخر تكوين بحيرات جليدية فى مناطق صخرية شديدة الصلابة ولم يتأثر تكوينها بالحواجز الإرسابية والركامات الجليدية ، ومن بين هذه البحيرات بحيرة كوريزك فى جزر سكاى فى غرب اسكتلندا .وتتألف هذه البحيرة الأخيرة من بحيرتين توأمتين يفصل بينهما حاجز صخرى شديد الصلابة. ومن دراسة المنطقة جيومورفولوجيا تبين أن الوادى الذى تقع فيه تلك البحيرة كان وادياً لمجرى نهر مائى ثم تشكل بالجليد. وعلى جانبى الوادى كثير من الشواهد على التعرية الجليدية مثل الخدوش الجليدية فى الصخروالكتل الضالة المنقولة Erratics وظهور الخراف أو الصخور الغَنَمية Roche Moutonnee ومن ثم تجمع الجليد وانحبس داخل الوادى النهرى القديم ، وعمل على زيادة تعميق بعض أجزائه الضعيفة جيولوجياً، وعند انصهار الجليد امتلأت المقعرات المتعمقة بالمياه على شكل بحيرات داخل قاع النهر نفسه.

وهناك مجموعة ثانية من هذه المجموعة من البحيرات الجليدية تتكون فى مناطق الحلبات الجليدية Corries or Cirques التى تتعمق بالتدريج

بفعل النحت الجليدية وانصهار المياه nivations أسفل الجليد المتجمع فى مقعرات الحلبات الجليدية. ومن ثم عند انصهار الجليد تتجمع بعض المياه على شكل بحيرات ضحلة صغيرة الحجم شبه دائرية الشكل فى أعالى الثلاجات وفى داخل مناطق الحلبات الجليدية. ومن بين أمثلة هذه البحيرات (لووتر) Low water فى منطقة البحيرات الإنجليزية ليك ديستريكت English Lake District(شكل ١٩٣)



(شكل ١٩٣) نموذج لبحيرات الحلبات الجليدية

أما المجموعة الثالثة من هذه البحيرات فقد تكون أسفل الحلبات الجليدية وفي القسمين العلوي والأوسط من الثلاجات أو الأنهار الجليدية – النهرية Fluvio - glacial Streams . ويعمل الجليد في هذه المناطق علي حفر وتعميق جزءاً من مجري النهر المائي القديم ، بفعل إنضغاط الجليد فوق بعضه البعض وإحتكاكه بقاع النهر . وعند إنصهار الجليد وتكوين مجري نهر مائي من جديد ، قد ينحبس الجليد في التجويفات المقعرة المتعمقة علي طول أجزاء من مجري النهر .ومن ثم تظهر بحيرات طولية الشكل تمثل أجزاء من مجري النهر المائي الحالي . وتكوين مثل هذه البحيرات في القسم الأعلى من النهر إن دل علي شئ فإنما يدل على

تكوينها بفعل الجليد (حيث أن البحيرات النهرية هي من الظواهر التي تتمثل عادة في الأجزاء الدنيا من حوض النهر بفعل الإرساب وعندما تضعف التعرية الراسية للنهر ويشتد فعل التعرية الجانبية). ومن بين أمثلة تلك المجموعة من البحيرات تلك المعروفة بإسم جاري Garry ورانوك Ranokوتاي Tayوإيرن Earn مرتفعات جرامبيان باسكتلندا ، وبحيرات ألدرو Idro وكومو Como ولوجانو Lugano ومجيوري Maggiori في مرتفعات الألب الإيطالية / السويسرية ، وبحيرات تورن Torn وسكالكا Skalka وفوجم Vojmوفولفو Vuolvo. وربنس Rebnses في النصف الشمالي من السويد .

٣- بحيرات تتكون بفعل الثورانات البركانية :

بخلاف البحيرات التي تتكون في فوهات البراكين ميز فليب ليك P.Lake مجموعة أخري من البحجيرات البركانية قد لا ترتبط بالمخروطات البركانية نفسها . ففي منطقة إيفل Eifelإنبثقت المصهروات البركانية علي شكل مقعرات أشبه بشكل الأطباق. Soucer Like وتتجمع المياه هنا علي شكل بحيرات بركانية صغيرة الحجم لا ترتفع سوي بضعة أمتار فوق منسوب الأرض المجاورة . ويشيع مثل هذا النوع من بحيرات الثورات البركانية في المناطق البركانية الغزيرة الأمطار .

٤- بحيرات تتكون بفعل الإذابة في الصخور :

تظهر مثل هذه البحيرات في مناطق الكارست الجيرية حيث تعمل كل من المياه السطحية والمياه الجوفية علي إذابة كربونات الكالسيوم وقد ينجم عن ذلك تكوين حفر ومقعرات على سطح الأرض . وإذا ما ساعدت ظروف التصريف المائى السطحى على تجمع المياه فقد يؤدى ذلك إلى تكوين البحيرات الجيرية . وقد سبقت الإشارة من قبل ، إلى تعرض الصخور الجيرية لفعل الذوبان التدريجى المستمر وتكوين ظواهر عديدة من بينها بالوعات الإذابة Solution Sinksوالحفر الغائرة ، والأحواض شبه الدائرية الشكل أو الدولينات Dolines وعند إمتلاء هذه الحفر والأحواض بالمياه

تتكون البحيرات . وهناك أيضاً بالوعات تتكون بفعل انهيار أسقفها Col-lapsed الجيرية تبعاً لتعرضها المستمر لعمليات الذوبان التدريجى وقى ينجم عنها كذلك تكوين بحيرات جيرية . ومن بين أظهر مجموعة البحيرات الجيرية تلك التى تتمثل فى مناطق متناثرة من إقليم الكارست اليوغوسلافى ، والمناطق الجيرية فى يوكوتان ، وهضبة كوزيه الفرنسية وهضبة شاشير Cheshire بالملكة المتحدة ، وبحيرتا سكوتارى Scutari واستيوفو Ostyovo بمرتفعات الألب فى الصخور الجيرية .

ثالثاً : بحيرات تتكون بفعل الحركات التكتونية :

تنشأ بعض البحيرات بفعل الحركات التكتونية . ففى مناطق الثنيات المحدبة والثنيات المقعرة التى لا تزال تؤثر فى تشكيل سطح الأرض حيث تتمثل الأحواض السطحية فى مناطق المقعرات والجبال فى مناطق المرتفعات (أى لم تحدث بعد تكوين مرحلة إنقلاب مظهر السطح بالنسبة للتركيب الصخرى Inversion of relief) تتجمع المياه السطحية فى المقعرات والمنخفضات التى تتمثل على سطح الأرض وتتكون البحيرات . ومن بين أمثلة هذه البحيرات تلك التى تتمثل فى غرب جزيرة ايرلندا . وتقع هذه البحيرات فى مناطق الثنيات المقعرة وكثيراً ما تمتد على نفس محاور خلجان الرياس ومن بين اظهر هذه المجموعة من البحيرات ، بحيرتا كوران Curran ومستر جهى Mastergeehy التى تقع على نفس محور خليج بالينسكيلجز Ballinskelligs فى جنوب غرب ايرلندا وبحيرات فيا Feeagh فى منطقة كاسيل بار Castlebar مع امتداد محور خليج كلو Clew Bay فى غرب ايرلندا . وتتمثل نفس الصورة كذلك على طول الساحل الشمالى الغربى لاسكتلندا ومن بين البحيرات الهامة فى هذه المنطقة بحيرات جلينكون Glencon وانيت Assynt وليرجين– Lurgin وبحيرة مارى Loch Maree . وتنتمى بحيرة جُوفية Lac de Jovx فى منطقة مرتفعات جورا إلى مجموعة البحيرات التى تتكون فى الأحواض السطحية لمناطق الثنيات المقعرة لتكوينات الصخور السفلية .

إلا أن أهم البحيرات التكتونية هى تلك التى تتكون فى مناطق الأغوار الصدعية وفى مناطق الأخاديد الصدعية الكبرى . فنتيجة لحدوث الصدوع الكبرى فى هذه المناطق الأخيرة يهبط جزء من الأرض بفعل الصدوع وتنحصر بين مناطق هضبية صدعية (تعرف باسم هورست Horst) هائلة الارتفاع . وإذا ما تجمعت المياه السطحية فى أجزاء من باطن الأغوار الصدعية تتكون البحيرات الصدعية وهذه الأخيرة تتميز بجوانبها الصدعية المرتفعة وامتدادها الطولى الممتد على طول محاور الصدوع ، كما أن الكثير منها قد يقع على منسوب أقل من مستوى سطح البحر الحالى .ومن بين هذه البحيرات الصدعية بحيرات بيكال فى الاتحاد السوفيتى ، ويوتاه فى الولايات المتحدة الأمريكية ونيس Loch Nessولوخى Loch Lochyوموهور Mhorفى الوادى الأوسط الصدعى الاسكتلندى ومن أظهر البحيرات الانكسارية أو الصدعية الكبرى تلك التى تتمثل فى قاع أغوار الأخدود الأفريقى العظيم The Great African Rift Vallyويبدأ هذا الأخدود من منطقة جنوب نياسا Nyasa، وتظهر هنا بحيرة نياسا ، وفي الفرع الغربي من الأخدود تتكون بحيرات ركوا Rukwa وتنجانيقا Tan-ganyıka وكيفو Kıvu وادوارد Edward وجورج George والبرت وتمتد بحيرات الفرع الشرقى للأخدود الأفريقى بصورة متقطعة ومتباعدة بالنسبة لتلك في الفرع الغربى ومن أظهر البحيرات هنا مكيوبى Ma-kuynı ومجادى Magady ونيفاشا Nivasha ورودلف Rudolf والبحيرات الصدعية فى هضبة الحبشة مثل بحيرتا أبايا Abaya ولانجانا Langana ويعد البحر الأحمر والبحر الميت وبحيرة طبرية من البحيرات الواقعة فى مكملات الغور الشرقى للأخدود الأفريقى العظيم (شكل ١٩٤)



شكل (١٩٤) بحيرة البحر الميت فى قاع الأخدود الأفريقى العظيم

الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات :

تختلف الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات تبعاً لظروف نشأتها والمناخ المحلي لإقليم كل بحيرة والعلاقة المتبادلة بين المياه التي تكتسبها البحيرة وتلك التي تفقدها ، هذا إلى جانب نوع الأملاح الذائبة فى مياه البحيرة والرواسب المتجمعة فوق أرضيتها . وتختلف درجة حرارة مياه البحيرات فيما بينها وهذا له أثره الواضح فى اختلاف كثافة مياه البحيرة من ناحية وتشكيل الحياة النباتية والعضوية فى البحيرة من ناحية أخرى . وقد ميز الأستاذ كوليه ثلاث مجموعات مختلفة من البحيرات على أساس اختلاف درجة حرارة مياهها . وتتلخص دراسته فيما يلى

١- بحيرات الإقليم المدارى Tropical Lakes حيث لا تنخفض درجة حرارة مياهها عن ٤°م فى أى شهر من شهور السنة

٢- بحيرات الإقليم المعتدل Temperate Lakes حيث قد تنخفض درجة حرارة مياهها عن ٤°م في بعض الشهور فى حين قد ترتفع عن ذلك خلال بعض الشهور الأخرى من السنة

٣- بحيرات الإقليم القطبى . Polar Lakes حيث تنخفض درجة حرارة مياهها عن ٤°م خلال أى شهر من شهور السنة

وتتشكل الخصائص الطبيعية والكيمائية لمياه البحيرات من فترة زمنية إلى أخرى تبعاً لظروف المناخ السائد . والتغيرات المورفولوجية التى تطرأ على منطقة البحيرة . وعلى سبيل المثال نلاحظ أن بعض البحيرات المتقطعة من البحر مثل لا دوجا ، وأونيجا كانت مياهها ملحة عند بداية نشأتها ، ثم تغيرت الخصائص الكيميائية للمياه وأصبحت اليوم ذات مياه عذبة . ويرجع ذلك إلي كمية التساقط السنوى فى إقليم هذه البحيرات وأن المياه التى تكتسبها البحيرات عن طريق التساقط والأنهار والمياه المنصهره من الثلج التى تصب فيها أكبر بكثير من المياه التى تفقدها عن طريق البخر . فى حين نجد أن بعض البحيرات الأخرى وخاصة تلك العروض المدارية قد تعتمد مصادر مياهها على المياه العذبة السطحية أو الجوفية ، ولكن عند

تجمعها فى المنخفض البحيرى سرعان ما تصبح ملحة وترتفع فيها نسبة الاملاح والشوائب الأخرى . ويرجع ذلك إلى زيادة كمية المياه المفقودة عن طريق البخر بالنسبة لكمية المياه المكتسبة . ومن بين أمثلة هذه البحيرات الأخيرة تلك التى تتمثل فى منخفض النطرون ، وبعض بحيرات منخفض سيوة فى الصحراء الغربية من جمهورية مصر العربية وتختلف الأملاح الذائبة فى مياه البحيرات فيما بينها تبعاً لظروف تكوين كل بحيرة ومورفولوجية المنطقة التى تقع فيها . فتتميز مياه بحيرات بيكال وأونيجا ولادوجا بإرتفاع نسبة أملاح الصوديوم وحامض الكربونيك ومياه بحيرتا ألتون وكوشوك بإرتفاع نسبة كلوريد الصوديوم فى حين ترتفع نسبة السلفات والكربونات فى مياه بحيرة ايسوك كول Issyk-Kul وكاربوجاز Kara -Bogas . وقد أوضح ماكسموفيتش G.Maksimovich بأن التركيب الكيميائى العام لمياه البحيرات يتأثر بالظروف المناخية المحلية لإقليم البحيرة ، وقد وصل هذا الباحث إلى النتائج الآتية :

١- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم التندرا من حامض الكربونيك والسليكات .

٢- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الغابات المعتدلة من حامض الكربونيك والكالسيوم .

٣- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الاستبس من السلفات وحامض الكربونيك وكلوريد الصوديوم .

٤- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الصحارى الحارة الجافة وشبه الصحارى من كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) .

وعلى ذلك قد يستغل الإنسان بعض هذه البحيرات اقتصادياً حيث يستخرج منها أملاح هامة تدخل فى صناعات متعددة . ففى الإتحاد السوفيتى تستغل تكوينات الصودا والكربونات من مياه بحيرات ميخائيلو فسكايا Michailoveskaya وكلوشيفسكيا Klyachevskaya فى منطقة استبس كولوندا Kulunda بسيبيريا ، وكذلك من مياه بحيرة

دورنينو Doronino فى منطقة بيكال ومن بعض بحيرات إقليم ياكوت . أما تكوينات وأملاح السلفات فتستغل من مياه بحيرة كولوندا وبحيرة باتال باشينسك Batal Pashinsk فى إقليم القوقاز . أما كلوريد الصوديوم فيستخرج من بحيرات التون Elton وباسكونشاك Buskunchak وبحيرات إقليم بحر قزوين وشبه جزيرة القرم . ولا يقتصر اختلاف مياه البحيرات على نوع الأملاح التى تتمثل فيها فقط بل كذلك فى نسبة الأملاح الذائبة فى هذه المياه . وعلى سبيل المثال نلاحظ أن نسبة الاملاح فى مياه بحيرة اونيجا تبلغ نحو ٣٠ ملجم / لتر بينما تصل إلى نحو ٢٦٠ ملجم / لتر فى مياه بحيرة كوشوك Kuchukفى غرب سيبيريا والى بنحو ٢٨٠ ملجم / لتر فى بحيرة والتون .

وقد أكدت الأبحاث المختلفة أن منسوب مياه بعض البحيرات يتغير من ساعة إلى أخرى خلال اليوم الواحد ، ومن زمن إلى آخر . ويطلق على التغير الوقتى فى منسوب المياه بالبحيرة تعبير Seiches، وهى حركات مياه أشبه بحدوث عملية المد والجزر فى البحار . أما التغيرات الكبرى فى منسوب سطح البحيرة تبعاً لتعاقب فترات جافة أو فترات مطيرة رطبة فينجم عنها تغير شكل البحيرة وإعادة تشكيل المظهر الجيومورفولوجى لمنطقة البحيرة . فعند إرتفاع منسوب مياه البحيرة ، تطغى البحيرة على الأراضى المجاورة لها وتغمرها بالمياه وتتسع مساحة البحيرة أما عند إنخفاض منسوب مياه البحيرة تتعرض للانكماش التدريجى وتترك خلفها مساحات تضاف إلى اليابس المجاور لها على شكل مدرجات بحيرية . وأعلى المدرجات هو دائماً أقدمها وأقل المدرجات منسوباً يمثل الشاطئ البحيرى الحديث . وقد ساعدت بعض المدرجات البحيرية علماء الآثار فى تتبع الحضارات البشرية القديمة ودراستها فى مواقعها بالمدرجات البحيرية المتعاقبة القديم والحديث منها كما هو الحال بالنسبة للمدرجات البحيرية فى منخفض الفيوم (مدرجات بحيرة قارون) ، والمدرجات البحيرية فى حوض البحر الميت .

وعند حدوث العواصف والرياح الشديدة فوق المسطحات المائية

للبحيرات الكبيرة الحجم (مثل بحر قزوين والبحيرات العظمى الامريكية) تتكون الأمواج العالية ، وتتصرف الأخيرة تماماً كفعل امواج البحر فى صخور السواحل المجاورة لها .

ويمكن أن ندرك الفعل الذى تقوم به الامواج البحيرية وتغيرات مستوى سطح البحيرات وحدوث الانهيارات والهبوط عند شواطئ البحيرات بدراسة ما تتعرض له الخزانات المائية الاصطناعية من تغيرات . فمن دراسة الخزانات التى أقيمت على أنهار الفولجا والدنيبر والدن فى الاتحاد السوفيتى يتضح أن شواطئ هذه الخزانات تتعرض لفعل التعرية وكثيراً ما تتهدم صخور شواطئ وتنجرف إلى قاع الخزانات . وعلى سبيل المثال تتراجع شواطئ خزان رابينسك Rabinsk بمعدل ٤ إلي ٥م / سنة .

ومن بين أهم ما تقوم به البحيرات هو عملية خزن وتجميع المفتتات الارسابية فوق قاعها عاماً بعد أخر . وتختلف هذه المفتتات تبعاً لدرجة تضرس المنطقة التى تقع فيها البحيرة وتكوينات صخورها ومدى اتساع البحيرة ومتوسطات أعماقها . وعلى ذلك تختلف الرواسب البحيرية فى قاع بحيرات العروض المدارية عن تلك المتجمعة فى قاع بحيرات العروض المعتدلة أو القطبية . وتقسم رواسب البحيرات كمثل رواسب البحار أما تبعاً لاختلاف النسيج الصخرى للمفتتات الارسابية (خشنة إلى دقيقة الحجم جداً) وأما تبعاً لاختلاف مصادرها (كيميائية وعضوية وقارية) ، وتهتم الجيولوجيا الإقتصادية بدراسة البحيرات كذلك لاستغلال املاحها ومعادنها وخاصة أملاح الهاليت والميرابليت Mirabilite، والصودا ، والجبس ، وخام الحديد .

المراجـــــع

، أولاً ، المراجع العربية

- حسن أبو العينين ، كوكب الأرض ، الطبعة العاشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الأسكندرية (١٩٨٨) ص ٥٩٥ .

------------------ ، أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة الحادية عشرة- مؤسسة الثقافة الجامعية - (١٩٩٥) ص ١ - ٧٧٠ .

------------------ ، جغرافية البحار والمحيطات ، الطبعة التاسعة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الأسكندرية (١٩٩٦)

------------------ ، لبنان - ،دراسة فى الجغرافية الطبيعية، بيروت (١٩٨١) ص ٦٨٥ .

------------------ ، أصول الجغرافية المناخية ، الاسكندرية - الطبعة السابعة (١٩٩٦) ص٥٨٠ .

------------------ ،الألواح الجيولوجية... ،كتاب مترجم - الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٨) ص٢١٦.

------------------ ،السهول الساحلية فيما بين رأس دبا وخور كلبا ، الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٩) نشرة رقم ١٢٢ ص١-٨٨.

------------------ ،الخليج العربى وتطوره الباليوجرافى .... ، الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٩) نشرة رقم ١٢٥ ص١- ٥١.

------------------ ،حـــوض وادى دبا.... ، إدارة الأبحاث -جامعة الكويت (١٩٩٠) ص١-٢٢٨.

------------------ ، دولة الإمارات العربية المتحدة - دراسات وبحوث جغرافية ،

دار صفا للنشر والتوزيع

عمان – الأردن (١٩٩٦) . ص١ – ٦٨٠

- أ.د. حسن أبو العينين ، **السهول الساحلية الغربية فى دولة الإمارات ...** ، ندوة الأبعاد الإقتصادية والبيئية للتنمية فى مجلس التعاون لدول الخليج العربية – جامعة الإمارات – مارس ١٩٩٠ ص١ – ١٤٦ بالإشتراك مع أ.د. أمل يوسف العذبى الصباح .

------------------ ، **بعض الظاهرات التركيبية النشأة فى جبل حفيت** ،– الجمعية الجغرافية الكويتية – نشرة رقم ١٧٦ (١٩٩٥) ص١ – ٥٦ .

------------------ ، **مروحة وادى بيح – دراسة جيومورفولوجية**،– الجمعية الجغرافية الكويتية – نشرة رقم ١٨٣ (أغسطس ١٩٩٥) ص١–٦١ .

------------------ ، **الخصائص الهيدرولوجية لمروحة وادى بيح وأثرها فى التنمية الزراعية** ،– الجمعية الجغرافية الكويتية – (١٩٩٦) .

- حسن صادق ، **الجيولوجيا** ، – الطبعة الثانية القاهرة (١٩٣٠) .
- فخرى موسى وآخرون ، **الجيولوجيا الهندسية** ، القاهرة – ١٩٦٨ .
- فيرنسيد ، و.ج. وبولمان ا.م ، **الجيولوجيا** ، الألف كتاب (٢١٧)–ترجمة محمد إبراهيم عطية .
- محمد صفى الدين ، **قشرة الأرض** ، – القاهرة (١٩٥٧) .
- محمد عبد الوهاب الشناوى ، **مقدمة فى علم البلورات والمعادن والصخور** ، – دار المعارف – القاهرة (١٩٦٤) .
- محمد متولى موسى ، **وجه الأرض** ، – القاهرة ١٩٥٨ .
- يحيى محمد أنور ، ومحمد العربى فوزى ، **الجيولوجيا** ، القاهرة (١٩٦٥) .

، ثانيا ، مراجع أجنبية مختارة

1- Abou el-Enin H.S.. " The geomorphology of the Moss Valley ", M.A. Thesis, Univ. Sheffield, (1962).

2- Abou el-Enin H.S.. " Some Perigiacially surface forms.. ",. Geographical Journal, Sheffield Univ. No5 (1962),3-7.

3- Abou el-Enin, H.S," Some aspect of the drainage evolution of the Moss Vally ..." North Univ. Geographical Journal Birmingham Univ No.5 (1964),40-54.

4- Abou el-Enin, H.S., " An examination of the evolution of surface forms ... with a particular reference to the Quaternary Era ". Ph D' Thesis, Univ. Sheffield, (1964).

5- Abou el-Enin, H.S., " Glacial and associated features.. in southwest Yorkshire ", Bulletin of the Faculty of Arts, Alex. Univ. (1965).

6- Abou el-Enin, H.s., "Guesta Features ... in the Maghara District ... Morthern Sinai ", Bull, Soc. Geog. d'Egypt, Vol. (1967).

7- Antevs, E., " The Last Glaciation ", Amer. Geog. Soi ., Ns.17 (1928).

8- Bailey, E.B., " Sedimentation in relation to tectonics ". Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. 47 (1946),1713-26.

9- Colin Ronan, " The Universe ", Oxford Press (1987)

10- Collier's Encyclopedia, N.Y (1991) Part7.

11- Colin Rpnan., " The Universe ", Oxford (1980).

12- Cook, R., Warren A., Goudie A., " Desert Geomorphology ", UCL Press (1993).

13- Cresswell, K.P., " Physical Geography" Longman (1972).

14- Davis, W.M., " Base level, grade and peneplain ", Jour Geol Vol. 10 (1902) 177-111.

15- Davis. W.M., " The geographical cycle ' Geog Jour Vol. XIV(1899).481-504

16- Dixon, R.T . " Dynamic Astronomy ",5th. edi. N Y (1989)

17- Don Leet and Judson. S.. " Physical Geology " N Y (1965)

18- Door (Kamp. J.C " Observation on the development of Cuestas " M.Sc Thesis. Univ Sheffield. (1962)

19- Gilluly J and Others, " Principles of Geology ". N Y (1965)

20- Hills. E.S.. " Outlines of structural geology " London (1962).

21- Holmes, A., " Physical Geology ", London (1965).new edi.(1978).

22- Holmes, C.D., " Introduction to College Geology " , M.U.(1962).

23- Horrocks, N.K., " Physical geog. and climatology ", London (1962).

24- King, L.C., " Morphology of the Earth ", Edinburgh, (1962).

25- Lang KB., " Wanderers in space " , Camb. Univ. Press (1991).

26- Lancaster, N., " The orientation of dunes ... " , Acta. Mec.2(1991), 89-102.

27- Lancastev, N., " sediment Volume ... " Jour. Geoph. Res.95 (1990) , 921-7.

28- Leys, J., " The erodibility of a range of soils ... ", Acta, Mec. 2 (1991),103-112.

29- Linton, D.L., " Problems of the Scottish Scenery ", Scot. Geog. Mag., Vol.63(1926). 13-27.

30-Linton, D. L., " Midland drainage ... " Adv. Sc 7 (1951), 449-456.

31- Lobeck, A.K., " Geomorphology an introduction to the study of Landscapes " , New York, (1939).

32- Longwell C. R. and others, " Outlines of Physical geolgy ", New York, (1947).

33-Maarleveld, G. C., " Glacial and periglacial landscape forms", Tijd, koin. Ned. Acred gen., LXXVII,3(1960) 298-304. Amsterdam.

34- Maxon, J. H. and Anderson, G - H. " Terminology of Surface forms of the erosion cycle " , Jour Geol . Vol.43 (1935) 88-96.

35- Peel, R. F., " Physical geography " , London, (1952).

36- Phillips, J.D,etal., " Geomorphic Systems " , Elsevier, Amestrdam (1992).

37- Penck, W., " The morphological analysis of land forms ". Translated by Halla Czech and Katherine, C., Boswell, London (1955).

38- Peltier L. C., " The geographical cycle in periglacial regions ... " A.A.A.G., Vol. 40 (1960), 214-236.

39- Roberts N., " Ups and downs of African lakes ", Nature 346 (1990) P.107.

40- Rubin, D.M., " Lateral migration of linear dunes ..." E.S.P. and landforms 15 (1990) 11-14.

41- Sarre, R. D., " Evoluation of aeolin sand transport " , Sedimentology 37 (1990) , 389-92.

42- Sabins. F.F., " Remote Sensing ", 2nd egi. N. Y. (1987).

43- Sissons, J.B., " The denudation chronology of the south west Yorkshire ", Ph. D. Thesis. Univ. Cambridge, (1953).

44- Sparks, B. W., " Geomorphology ", London, (1961).

45- Stamp D., " A glossary of geographical terms ", London, (1961).

46- Seers, A. J., " The unstable earth ", London (1961).

47- Stokes, W. L., and Judson, S. " Introduction to geology ", N.Y.(1968).

48- Thornbury, W.D., " Principles of geomorphology ", Ne York (1958).

49-Thornbury, W. D., " Regional geomorphology of the Uni ed States " , New York, Wiley (1965).

50- West, R.G., " The Ice Age " , Adv. Sci. Vol. 17 (1960)428-440.

51- Wooldridge, S. W., and Morgan, R. S., " Geomorphology ", London, (1960).

52- Zeuner, F.E " Dating the Past " , London, (1950) Ist. edi.

53- Zeuner, F., " The Pleistocene Period ", London, (1950).

54- Zwolinski, Z., " Depostional mode for desert creek chanels ", Zeitschrift fur Geom. 55 (1985)39-56.

فهرس محتويات الكتاب

رقم الصفحة

رقم الصفحة

رقم الصفحة

الباب الثالث

القوى التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض

رقم الصفحة

رقم الايداع ٩٦/١٠٧٢٠
الترقيم الدولى
٤ _ ٢٩ _ ٩ _ ٥٠٠ _ ٩٧٧

مطابع رواى للطباعة والإعلان
المصادرة القبلية فى عمر بن العزيز متفرع من
المعهد الدينى - الإسكندرية - ج.م.ع
☎ : مكتبة : ٥٠٣٣٦٢٠١ منزل : ٥٠٣٣٥٨٨٠
مطبعة : ٥٠٣٣٥٧٦٣ / ٠٣ فاكس ٥٠٣٣٥٧٦٣
محمد على رواى

تم بحمد الله عمل فصل ألوان
الغلاف وجميع الأعمال الفنية
الملونة الداخلية ذات المستوى
الرفيع بمطبعة الانتصار

غلاف مطبعة الانتصار
ELENTSAR PRESS
١٠ ش الوردى كوم الدكة - ت : ٤٩١٦٥٩٧